CRT-2000-33

Centre de recherche sur les transports (C.R.T.)
Centre for Research on Transportation

ÉTUDE SUR LE PROBLÈME DES EFFETS CROISÉS DANS LE TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES

par

Mohammed Karim Dinia

MÉMOIRE D'ÉTUDIANT

Octobre 2000

101-01815/

PUBLICATION
CRT-2000-33

*ÉTUDE SUR LE PROBLÈME DES EFFETS CROISÉS DANS LE TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES**

par

Mohammed Karim Dinia[1]

* *Mémoire présenté à l'Université du Québec à Montréal comme exigence partielle de la Maîtrise en Administration des Affaires. Sous la direction de M. Teodor Gabriel Crainic.*

[1] Management et technologie, Université du Québec à Montréal et Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal, C.P. 6128, succ. Centre-ville, Montréal, CANADA H3C 3J7

© Mohammed Karim Dinia, 2000

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec,
Bibliothèque nationale du Canada, 2000

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS v

LISTE DES FIGURES vii

LISTE DES TABLEAUX ix

RÉSUMÉ x

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I
PROBLÉMATIQUE 4

1.1 Introduction 4

1.2 Les dangers 6

1.3 Problématique générale des matières dangereuses 8

1.3.1 Le risque 11

1.3.2 L'équité 12

1.3.3 Le coût 13

1.4 Cadre de l'étude 13

1.5 Projet global 14

1.5.1 Planification des modes de transport et des véhicules 17

1.5.2 Planification individuelle des routes 18

1.5.3 Planification globale des routes 18

1.5.4 Planification des secours 19

1.5.5 Stations d'inspections 20

1.5.6 Planification des sites 20

1.6 Problématique du mémoire 22

1.7 Conclusion 25

CHAPITRE II
CRITÈRES D'ANALYSE 26

2.1 Introduction 26

2.2 Le risque 26

2.2.1 Le modèle du risque traditionnel 27

2.2.2 Le modèle de la population exposée au risque 37
2.2.3 Le modèle de la probabilité d'incident 38
2.2.4 Le modèle du risque perçu 39
2.2.5 Le modèle du risque conditionnel 40
2.3 L'équité 43
2.4 Le coût 50
2.5 Conclusion 53
CHAPITRE III
CRITÈRES D'ANALYSE ET SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION 55
3.1 Introduction 55
3.2 Modèles d'analyse 55
3.2.1 Modèle de sélection du chemin le plus court 56
3.2.2 Modèle de sélection des routes et de localisation des sites 59
3.2.3 Modèle de sélection simultanée des routes et des sites 61
3.2.4 Modèle générique à plusieurs objectifs 64
3.3 Systèmes d'aide à la décision 66
3.3.1 Système d'aide à la décision interactif et spatial des problèmes à plusieurs objectifs 67
3.3.2 Outil d'analyse de réseau (Haz Trans) 74
3.3.3 Système d'analyse de transport routier et d'information géographique 84
3.3.4 Modèle décisionnel et analyse de covariance 88
3.4 Conclusion 95
CHAPITRE IV
MÉTHODOLOGIE 96
4.1 Introduction 96
4.2 Objectif de l'étude empirique 96
4.3 Critères d'analyse choisis 97
4.4 Plan d'analyse 100
4.4.1 Les matrices 102
4.4.2 Les fonctions 103

4.5 Description de l'outil d'aide à la décision 107
4.5.1 Concepts généraux qui sous-tendent le design de STAN 110
4.6 Adaptation de la problématique à l'outil d'aide à la décision 115
4.7 Banque de données 118
4.8 Conclusion 119
CHAPITRE V
PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS 120
5.1 Introduction 120
5.2 Résultats de la première affectation des demandes 121
5.2.1 Sélection individuelle des routes 121
5.2.2 Sélection globale des routes 125
5.3 Résultats de la deuxième affectation des demandes 126
5.4 Résultats de troisième affectation des demandes 129
5.5 Comparaison des résultats des deux scénarios 131
5.6 Conclusion 135
CONCLUSION 139
APPENDICE A
FIGURES ET TABLEAUX DU CHAPITRE IV 145
APPENDICE B
FIGURES ET TABLEAUX DU CHAPITRE V 164
RÉFÉRENCES 203

AVANT-PROPOS

Tout d'abord, j'aimerai signaler que la réalisation de ce mémoire a été affrontée par des obstacles plus ou moins difficiles à surmonter, mais combien enrichissants. Il m'a permis de mettre en pratique les connaissances acquises tout au long de ma formation estudiantine, notamment en MBA-Recherche.

Je tiens à remercier tous ceux et celles qui m'ont encouragé et aidé à rendre à terme ce travail.

Mon directeur de recherche Teodor Gabriel Crainic,Ph. D., je n'ai que d'éloges et remerciements à formuler pour ses précieux conseils, son support financier ainsi que ses critiques constructives qui m'ont souvent ramené sur la bonne voie.

Tous mes professeurs du département des sciences de la gestion qui, durant les deux dernières années de ma formation, ont pu m'assurer un niveau d'étude digne d'intérêt.

Je tiens à exprimer ma gratitude à mes parents Najiba et Ahmed qui m'ont toujours encouragé et soutenu moralement et financièrement à partir du Maroc, ainsi que mes soeurs Nadia, Narjice et Saoussane et mon frère Taoufik. Je les remercie tous pour leurs soutiens précieux.

Ma gratitude va également à mon épouse Sophia qui, durant ces deux dernières années, m'a soutenu et encouragé moralement afin que je puisse étudier, effectuer des recherches et rédiger ce mémoire. Je la remercie énormément.

À mon fils Nassim, un grand remerciement du fond de mon coeur pour tout l'amour profond qu'il m'a offert, sa bonté et son humour.

Il m'importe aussi de remercier Madame Diane Berthelette,Ph. D. et Monsieur Mohammed Gharbi qui ont contribué au transfert de mon inscription de l'université du Québec à Trois-Rivières à l'université du Québec à Montréal.

Je remercie également tous mes amis pour leur aide appréciable, l'accueil chaleureux qu'ils m'ont offert lors de mes visites chez eux et leur gentillesse.

À toutes ces personnes et aux évaluateurs de ce mémoire Monsieur William Hodges,Ph. D. et Monsieur Lassana Maguiraga,Ph. D, un sincère remerciement.

Mohammed Karim Dinia
Avril 1998

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
2.1	Représentation du transport d'une matière dangereuse entre une origine (O) et une destination (D) par le mouvement du cercle de danger dans un réseau routier	29
2.2	Arbre partiel de probabilité qui montre les résultats possibles d'un transport d'une matière dangereuse au long d'un ensemble de segments de route, où p= la probabilité d'incident par mile, et C= la population affectée dans le cas d'un incident	31
2.3	Arbre partiel de probabilité qui montre les résultats possibles d'un transport d'une matière dangereuse au long d'un chemin, où p_i= la probabilité d'incident au long de l'ensemble de segments i, et C_i= la population affectée par un incident sur l'ensemble i	34
2.4	Représentation des probabilités d'incident réelle et simplifiée comme une fonction de distances	36
2.5	Représentation des distributions de probabilité pour les quatre conséquences de base	44
2.6	Représentation des distances séparant les utilisateurs du site	48
3.1	BAGAL	69
3.2	Représentation graphique d'une solution dans une distribution spatiale	71
3.3	Représentation des graphes des cinq fonction-objectifs	72
3.4	I-10 de la frontière de l'Arizona jusqu'à Vandenberg, CA	77

3.5	Cas1. Analyse comparative des fonctions de compromis	81
3.6	Cas2. Analyse comparative des fonctions de compromis	82
3.7	Modèle des mesures multiples du risque de transport	89
3.8	Modèle du risque de transport à indicateur unique	91
3.9	Diagramme d'influence pour la gestion du risque de transport basé sur le modèle à indicateur unique	92
3.10	Portion probabiliste du diagramme d'influence pour la gestion du risque de transport utilisant des indices composés des quatre facteurs	94
4.1	Les composantes du modèle STAN	109
4.2	Banque de données de STAN	110

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Résumé des cinq modèles de risque suggérés dans la littérature du transport des matières dangereuses	42
3.1	Cas1: impacts de l'analyse de route	79
3.2	Cas2: impacts de l'analyse de route	81
3.3	Cas3: impacts de l'analyse de route	84
3.4	Statistiques des routes choisies	85
4.1	Tableau représentant les matrices utilisées dans l'étude	102
4.2	Tableau représentant les fonctions utilisées dans l'étude	104
5.3	Représentation des coûts totaux, coûts de transport et risques réalisés par le transport sur les routes sélectionnées (première affectation)	122
5.5	Exemple représentant les liens qui constituent la cinquième route avec les coûts totaux qui leur correspondent	123
5.6	Exemple représentant les liens qui constituent la cinquième route avec les longueurs, les coûts unitaires et les valeurs de risque qui leur correspondent	124
5.8	Représentation des valeurs de risque obtenues lors de la deuxième affectation des demandes (sélection globale)	127
5.12	Représentation des valeurs des risques totaux réalisées au cours de l'affectation de toutes les demandes (sélections individuelle et globale)	134

RÉSUMÉ

Le domaine de la logistique des matières dangereuses est défini par la localisation des sites de traitement et/ou d'entreposage de ces dernières, les technologies qui y sont utilisées ainsi que les choix des routes pouvant être empruntées aux fins de leur transport. À cause de leur nature, les problèmes qui leur sont associés nécessitent la réalisation d'une multiplicité d'objectifs tels que la minimisation du coût et du risque et également la maximisation de la distribution équitable des risques. La combinaison de ces trois critères forme l'élément principal d'une analyse de la logistique des matières dangereuses.

Le transport des matières dangereuses s'est accru de façon remarquable au cours des quatre dernières décennies. Dans ce contexte, même si les probabilités des accidents routiers sont généralement faibles, les populations qui résident à proximité des routes empruntées par le transport de ces matières sont de plus en plus exposées à des dangers tels que des explosions, des écoulements de nappe en feu, etc.

Lors de plusieurs affectations simultanées des demandes dans un réseau routier, les risques ont tendance à accroître sur certains segments de route. Cet accroissement s'explique par la présence des effets croisés qui sont dus à plusieurs flux de transport provenant de diverses régions et qui se recoupent à plusieurs points uniques. Par ce fait, nous devons alors porter attention à l'accroissement des différents risques et leur distribution spatiale.

La présente étude tente de savoir si nous pouvons réaliser une approximation des effets croisés. Pour ce faire, nous avons choisi, à partir de la revue de littérature, les critères d'analyse nous servant à atteindre l'objectif de cette recherche. De plus, nous avons choisi « STAN » comme outil d'aide à la décision nous permettant de faire les simulations nécessaires.

Ainsi, le premier volet de l'étude vise à faire l'affectation de 14 demandes de matières dangereuses, individuellement et simultanément, afin de déterminer les routes utilisées par leur transport. L'analyse des résultats de cette première affectation, qui s'effectue en se basant sur une minimisation du coût et du risque, nous a permis de constater que les routes qui sont obtenues pendant l'affectation des demandes individuellement correspondent aux chemins les plus courts. De plus, elle nous a permis également d'identifier les effets croisés lors des affectations simultanées.

Le deuxième volet vise à faire l'affectation de toutes les demandes simultanément, mais en se basant, cette fois-ci, non seulement sur la minimisation du risque et du coût, mais également sur la maximisation de l'équité. À partir des résultats obtenus, nous avons remarqué que les risques ont été répartis sur plusieurs segments de tout le réseau, mais sans pour autant atteindre une distribution équitable.

Le troisième volet a comme but d'améliorer la distribution des risques qui, à la fin, demeure quasiment identique par rapport à la précédente.

Lors du quatrième volet, une comparaison a été faite ente la première affectation des demandes individuellement et celle de toutes les demandes simultanément. À ce niveau, nous avons pu constater que lors de la dernière affectation des demandes, les routes ont changé quant à leur nombre et à leurs longueurs. Ceci est dû naturellement au fait que nous avons incité les risques à se répartir.

À partir de cette étude, nous concluons que lorsque nous ne considérons pas l'équité lors de plusieurs affectations simultanées des demandes, nous obtenons les mêmes routes par rapport à celles réalisées lors des affectations individuelles. Toutefois, si nous tenons compte du facteur d'équité, les routes ne sont plus les mêmes. De façon globale, nous pouvons dire que nous avons réussi à bien adapter notre problématique à l'outil d'aide à la décision utilisé aux fins de cette recherche. Nous n'avons pas développé un modèle spécifique, mais nous avons réussi à développé une méthode qui nous a permis de résoudre notre problématique par l'utilisation d'un outil déjà existant. Il est donc évident que ce serait souhaitable d'intégrer l'équité de façon parfaite dans un modèle.

Finalement, nous nous permettons de dire que même si nous avons réussi à faire une approximation des effets croisés, il reste une limite à notre recherche. Celle-ci correspond au principe de l'équité qui n'a pas été parfaitement respecté. Afin de résoudre ce problème, nous avons vivement recommandé un plan de transfert de paies qui incite les transporteurs des matières dangereuses de payer des taxes une fois qu'ils dépassent les quantités réglementées devant être transportées tout près des populations imposées à des risques très élevés par rapport au risque moyen de tout le réseau routier. Ces taxes vont être versées sous forme d'indemnités à toutes ces populations non privilégiées. De plus, étant donné que les populations qui sont imposées à de moindres risques sont en quelque sorte privilégiées, elles vont, à leurs tours, contribuer par des taxes supplémentaires.

Mots clés: effets croisés, équité, matières dangereuses, risque et transport.

INTRODUCTION

La gestion des matières dangereuses et la planification de leur transport est un problème décisionnel important qui intéresse les producteurs, consommateurs et transporteurs de ces matières, les gouvernements, les compagnies d'assurance et évidemment la population qui est exposée aux dangers qui leur sont associés.

Les matières dangereuses imposent un risque considérable à la santé publique et à l'environnement. Pour cette raison, les problèmes de sélection des routes utilisées pour leur déplacement ont des caractéristiques qu'on ne trouve guère dans la majorité des problèmes de transport. Celles-ci doivent tenir compte du risque qui est imposé aux individus et à l'environnement, mais aussi souvent de la distribution spatiale de ce risque, connue dans la littérature sous le nom d'équité, et également du coût. La combinaison de ces trois critères constitue l'élément principal d'une analyse de transport des matières dangereuses.

Même si les probabilités d'accident sur les routes sont généralement faibles, l'énorme quantité transportée ne garantit pas l'absence des accidents pendant une certaine période de temps. Si l'on tient compte des risques imposés aux populations lors du choix des routes à travers lesquelles les matières dangereuses vont être déplacées, leur impact peut-être réduit.

Les choix simultanés de plusieurs routes accessibles au transport de ces matières dans un réseau routier reflètent un exercice qui présente des difficultés à relever qui s'expliquent par l'apparition de plusieurs flux de transport pouvant utiliser les mêmes routes plusieurs fois et, par conséquent, accroître les risques imposés aux populations. À ce sujet, nous devons non seulement prêter attention aux compromis des trois critères d'analyse reliés à chaque route, mais aussi à l'ensemble des routes du réseau. Nous devons alors porter attention à l'accroissement des différents risques et leur répartition spatiale.

Plusieurs études en rapport avec la sélection de ces routes ont été réalisées lors des deux dernières décennies, mais aucune d'entre elles ne traite les différences qui existent entre une sélection individuelle (une route sélectionnée à la fois) et une sélection globale (plusieurs routes sélectionnées simultanément). Nous pensons qu'il existe des différences entre les deux cas. D'où naît notre problématique.

L'objectif poursuivi par ce mémoire est de vérifier si l'on peut, par l'intermédiaire d'une ou de plusieurs simulation(s), faire une approximation de l'écart qui existe entre les deux sélections. Cet écart s'explique par l'apparition des effets croisés, dus à plusieurs flux de transport provenant de divers côtés du réseau routier et qui se recoupent en plusieurs intersections identiques, lors des choix simultanés des routes. Afin de résoudre cette problématique, nous pensons qu'il est nécessaire de faire une comparaison entre la sélection individuelle et globale des routes et ensuite, achever notre travail par une approximation de ces effets croisés. Pour ce faire, nous devons d'abord faire un choix des critères d'analyse que l'on va utiliser dans notre étude.

Pour mieux cerner le sujet, nous avons scindé ce mémoire en deux grandes parties. La première partie porte sur la littérature de la logistique des matières dangereuses et la seconde, sur la partie méthodologique et analytique qui concerne l'étude poursuivie par ce mémoire.

Les étapes résumées ci-dessus seront développées dans la suite de cet ouvrage selon un plan constitué en cinq chapitres. Dans la première partie, nous présenterons au chapitre I la problématique générale de la logistique des matières dangereuses, notamment les problèmes rencontrés dans la littérature et qui se relient directement au risque, à l'équité et au coût. En outre, nous présenterons également la problématique spécifique de ce mémoire qui porte sur la détermination de l'approximation des effets croisés apparus lors des sélections simultanées des routes.

Au chapitre II, nous présenterons un aperçu détaillé de l'évaluation des risques imposés au public par les activités potentiellement dangereuses, des approches dominantes du calcul d'équité dans la distribution spatiale du risque et également des difficultés rencontrées lors de l'estimation des coûts engendrés par la gestion des matières dangereuses et la planification de leur transport.

Le chapitre III présentera quelques modèles d'analyse et de systèmes d'aide à la décision afin d'expliquer certains types de problèmes qui ont été traités dans la littérature.

Dans cette première partie du mémoire, nous avons utilisé toute la documentation nécessaire et disponible que nous jugeons essentielle parce qu'elle représente des informations de base qui vont être utilisées, ou du moins qui vont nous aider à atteindre notre objectif.

Dans le chapitre IV, nous présenterons notre démarche méthodologique. Nous expliquerons comment nous allons aborder la problématique. De même que nous offrirons une explication de l'outil d'aide à la décision utilisé afin de traiter le sujet de l'étude sous question. De plus, nous exposerons par ailleurs les limites de cette recherche.

Finalement, le chapitre V rassemblera les résultats de notre analyse et fera état quant à leur discussion. Pour chaque phase, nous mettrons en évidence les différences rencontrées entre les deux sélections de routes et tenterons de les expliquer.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

1.1 INTRODUCTION

Les matières dangereuses correspondent aux explosifs, aux gaz inflammables liquides et solides, aux substances toxiques et infectieuses, aux matières radioactives, aux substances corrosives et aux déchets. Pour la majorité des membres des sociétés industrielles, la vie sans matières dangereuses est inconcevable parce qu'elles jouent un rôle contributif dans le développement des pays. Toutefois, la plupart d'entre elles sont extrêmement nuisibles à la santé humaine et à l'environnement puisqu'elles peuvent entraîner des blessures ou la mort aux êtres humains, aux animaux et aux plantes.

Les matières dangereuses ne sont pas juste utilisées à leur point de production, mais sont également transportées d'une place (origine) à une autre (destination). De plus, elles doivent être traitées dans des sites de traitement et/ou stockées dans des sites d'entreposage. Des exemples communs des sites qui traitent ces matières sont les raffineries de pétrole, les usines de traitement chimique et les sites nucléaires.

Les agents responsables et concernés par les matières dangereuses doivent décider quel emplacement de site(s) ou quelle(s) route(s) choisir. Avant de prendre une telle décision, il est préférable et nécessaire de connaître les risques associés à celle-ci. S'il existe des directives précises concernant le niveau maximal des risques acceptés, les décisions de planification et de gestion peuvent être prises afin que chaque population et environnement ne soient exposés à des niveaux de risques trop élevés. Ces décisions sont davantage importantes lorsqu'il s'agit de risques sur lesquels il y a peu de contrôle. En désignant les sites de traitement et d'entreposage de ces matières et en choisissant les routes par lesquelles

elles vont passer, il devient alors crucial pour ces agents de s'intéresser à la logistique des matières dangereuses.

La croissance que les pays occidentaux ont connu depuis la fin de la seconde guerre mondiale a eu un impact direct sur l'utilisation de ces matières. À leurs débuts, les pays industrialisés étaient préoccupés par leur production et utilisation sans attacher beaucoup d'importance à leur gestion et à la planification de leur transport. Durant cette phase de croissance, ces pays visaient à consolider leur position à l'échelle internationale et à augmenter leur force. Il s'agissait alors d'améliorer les structures, d'exploiter les ressources et non pas d'élaborer efficacement des méthodes et des politiques pour minimiser les dangers de ces matières.

Depuis environ deux décennies, la situation a changé et le problème de la gestion des matières dangereuses et de la planification de leur transport commença à attirer l'attention de plusieurs gouvernements afin d'assurer, davantage, la sécurité de l'homme ainsi que la protection de l'environnement. À titre d'exemple, tel que décrit dans Erkut et Verter (1994), l'acte de la sécurité uniforme du transport des matières dangereuses de 1990 exigea le département de transport américain de déterminer des normes de désignation des routes empruntées par celles-ci. Également, l'acte canadien de protection de l'environnement de 1988 contraint à l'élaboration d'une étude minutieuse sur tous les produits chimiques utilisés au Canada, dont le but est de déterminer l'étendue et la nature du risque associé à ces substances. En plus de ces actes réalisés individuellement par les gouvernements américain et canadien, les Nations Unies adoptèrent en 1989 un consensus international entre 105 pays et la Communauté Européenne afin de régulariser le transport frontalier des matières dangereuses et de sécuriser leur stockage sous certaines conditions environnementales.

Malgré les efforts continus qui ont pour but d'éviter les problèmes de ces matières, plusieurs accidents ont eu lieu provoquant ainsi des conséquences indésirables. Erkut et Verter (1994) présentent plusieurs d'entre eux. Par exemple, en 1976 en Italie, à Saveso, une usine de fabrication de produits chimiques a explosé en blessant ainsi 190 personnes et en

tuant des milliers d'animaux et d'oiseaux. De plus, en 1978, à New York, plus de mille foyers ont été évacués suite à une fuite de gaz toxique d'un site de stockage de substances chimiques. Un an plus tard, un train, transportant des substances chimiques toxiques, a déraillé tout prés de Missisauga en Ontario, nécessitant l'évacuation de 200 000 habitants. En 1982, en Afghanistan, 2700 personnes ont trouvé la mort dans un tunnel suite à une explosion d'un camion-citerne transportant de l'essence. Deux ans plus tard, en 1984, un écoulement de méthyle isocyanate, d'une usine chimique à Bhopal en Inde, a provoqué la mort de 4000 personnes. Ensuite, en 1986, en plus des conséquences dévastatrices dans les environs du réacteur nucléaire, l'accident de Chernobyl causa également de sérieux problèmes à long terme même dans les pays voisins, surtout ceux dont les animaux et les produits agricoles ont été contaminés.

À partir de ces exemples, nous remarquons que les matières dangereuses constituent un danger potentiel pour la société et l'environnement, à moins que les responsables ne font une bonne gestion de leur utilisation, traitement et stockage et également une bonne planification de leur transport afin de minimiser les dangers qu'elles imposent à la société et à l'environnement. De plus, l'augmentation du nombre de catastrophes causées par les accidents demande donc que l'on se concentre davantage sur la résolution des problèmes qui leur sont associés.

1.2 LES DANGERS

Nous faisons face quotidiennement à plusieurs types de risque et sommes continuellement sujets à être exposés à des dangers. Hubert, Bonnefous et Brenot (1991) présentent certains de ces dangers, à savoir:

- Les dangers des gaz de pétrole liquéfiés (GPL) résultent des phénomènes suivants: l'explosion, avec des effets de souffle; l'écoulement de nappe en feu, avec un risque de brûlures mais aussi d'incendies secondaires. La principale agression pour l'homme est la brûlure, et les effets sur l'environnement

correspondent à la destruction par le feu d'habitations, d'installations industrielles ou de forêts. Les effets directs peuvent s'observer jusqu'à environ 500 mètres autour de l'accident.

- Les dangers des hydrocarbures liquides et liquides inflammables sont proches de ceux associés aux GPL et ils résultent des phénomènes suivants: l'écoulement de nappe en feu et l'explosion. Ces phénomènes physiques ne sont pas les seuls redoutables. Le liquide peut couler vers des bâtiments vulnérables (école, hôpital, prison, etc.). Il peut infiltrer les réseaux d'égouts ou d'évacuation des eaux. Les atteintes à l'homme sont quasi exclusivement associés au flux thermique des incendies. Les atteintes par le feu aux installations voisines et à l'infrastructure sont souvent importantes. À cause de la pollution, les aquifères peuvent être rendues inutilisables pour plusieurs années. Les effets directs se font sentir sur au plus une centaine de mètres, alors que les propagations par écoulement ou transmission du feu peuvent aller au delà.

- Les dangers des gaz toxiques ont comme impact principal l'atteinte à l'homme. Dans le cas de certains produits, d'autres dangers sont à considérer. Pour l'ammoniac par exemple, l'inflammation et l'explosion sont possibles; le produit a aussi des propriétés corrosives. Pour les produits les plus corrosifs, les distances auxquelles pourraient se produire des effets dépassent le kilomètre.

- Les dangers des liquides toxiques et corrosifs très volatils ou pris dans un feu sont analogues à ceux des gaz toxiques. Pour les autres liquides, le décès requiert la mise en contact direct avec le liquide et le risque d'accident majeur n'est pas très important. Le dommage d'un grand déversement est avant tout écologique et économique. La perte de la ressource en eau est l'impact majeur à court terme.

- Les dangers des substances radioactives résultent de l'éclatement avec des projections de radiations; l'explosion, avec de très forts effets de souffle, de forts

effets thermiques et des radiations nombreuses et intenses. La principale agression pour l'homme est le décès ainsi que des brûlures, ayant des conséquences génétiques transmises d'une génération à une autre, et les effets sur l'environnement correspondent à la destruction des forêts et plantes. Les effets directs peuvent s'observer jusqu'à plusieurs kilomètres.

1.3 PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE DES MATIÈRES DANGEREUSES

L'intérêt que l'on accorde aux décisions portant sur la logistique des matières dangereuses est directement relié à la localisation des sites de leur traitement et leur entreposage, à la sélection des routes utilisées pour leur transport et également à l'emplacement d'autres sites reliés à leur transport. La résolution convenable des problèmes de ces matières est une problématique réelle dans chaque pays développé et devient également importante dans les pays en voie de développement. D'après Erkut et Verter (1994), il a été estimé qu'en 1994, 4 milliards de tonnes de matières dangereuses ont été transportées à travers tous les États-Unis d'Amérique et environ 300 à 400 millions ont été transportées dans le reste du monde. Au Canada, l'estimation de 1992 correspond à 6,5 millions de tonnes. Cependant, il n'existe pas suffisamment de centres de traitement et d'entreposage de celles-ci à cause des difficultés rencontrées une fois que l'on essaie de les placer, et donc elles sont entreposées par accumulation à court terme dans des sites d'entreposage. Ceci démontre que les problèmes de la logistique des matières dangereuses ne s'appliquent pas seulement à leur production future, mais également à leur accumulation arriérée. Cet aspect du problème demande que l'on trouve des solutions.

Les matières dangereuses différent des autres matières (ordinaires) du fait qu'elles imposent un risque considérable à la santé publique et/ou l'environnement. Pour cette raison, les problèmes de localisation des sites de leur traitement et entreposage et également du choix des routes utilisées pour leur transport ont des caractéristiques qu'on ne trouve guère dans la majorité des problèmes de la logistique. Ces caractéristiques doivent tenir compte du risque, imposé aux individus et à l'environnement, dans une solution particulière

choisie, mais aussi souvent de la distribution spatiale de ce risque, connue dans la littérature sous le nom de l'équité d'une solution. Un troisième critère évident est celui du coût d'une solution. Ces trois critères, une fois combinés, forment l'élément principal de l'analyse des problèmes de la logistique des matières dangereuses.

La gestion de ces matières dangereuses et la planification de leur transport portent habituellement sur deux aspects. D'une part, il y a la sécurité de l'homme, où l'on se penche surtout à éviter ou du moins minimiser les inconvénients plus ou moins probables auxquels il est exposé, et plus précisément le risque de décès. D'autre part, il y a la protection de l'environnement, où l'on se préoccupe de la minimisation des impacts des matières dangereuses sur ce dernier. Prenons, par exemple, le cas de leur transport sur une route quelconque. Il est évident que celui-ci impose des risques au public à travers cette route, aux populations qui résident à proximité de cette dernière et également à l'environnement avoisinant. Des accidents peuvent arriver, engendrant peut être l'échappement du contenu du transport par écoulement ou par le feu et faisant des fois des morts et/ou des blessés et également des dégâts matériels. De plus, un accident peut être coûteux dans la mesure où la compagnie de transport sera responsable, partiellement ou en totalité, des dommages et intérêts des personnes atteintes ou décédées, du nettoyage de la route, de la réparation ou du remplacement de tout matériel et équipement utilisés au cours du transport sans oublier également que les frais d'assurance vont accroître ainsi que l'image de marque de la compagnie risquant d'être négativement affectée.

Face à cette situation problématique, plusieurs questions ont été soulevées dans la littérature. À titre d'exemple, comment peut-on évaluer le risque? Doit-on se baser sur la probabilité d'un accident ou sur ses conséquences ou encore sur les deux? Peut-on utiliser des données historiques à propos des taux d'accident sur la route empruntée par le transport? Comment peut-on évaluer l'équité? En évaluant la population imposée au risque, doit-on utiliser le nombre de personnes qui réside à proximité de la route? Si oui, quelle sera donc la distance qui les sépare? Comment peut-on inclure les endroits de forte concentration de

population, tels que les hôpitaux, les écoles et les prisons, dans notre analyse? Comment peut-on considérer le risque environnemental? Quel type de risque doit-on utiliser?
À partir de ces interrogations, il semble être clair que la problématique de la logistique des matières dangereuses est beaucoup plus complexe que celle des matières ordinaires.

On peut donc dire que cette logistique est et demeure un problème de décision stratégique et tactique important. Les facteurs essentiels tels que le risque, l'équité et le coût, qui sont associés à ses activités, rendent difficile sa résolution. De plus, la prise de décision demeure généralement complexe non seulement suite au potentiel des accidents spectaculaires, mais aussi à cause de la sensibilité du public qui est souvent manifestée par la perception des risques associés au transport des matières dangereuses et aux sites de leur entreposage et transformation. Les risques perçus sont habituellement beaucoup plus élevés que ceux évalués par les experts. Par exemple, tel que décrit dans Erkut et Verter (1994), selon la commission américaine de régularisation nucléaire, la fréquence estimée des événements impliquant un chiffre déterminé de décès pour un site nucléaire est beaucoup plus petite que celle qui correspond à un accident de vol. Cependant, en se basant sur les préférences révélées par le public américain, il a été démontré que le risque associé à un accident d'avion est plus accepté que celui associé à un site nucléaire. De plus, la réaction du public envers les accidents causés par les matières dangereuses est beaucoup plus forte qu'envers d'autres accidents. À titre d'exemple, la moyenne annuelle de décès causés par les matières dangereuses est d'environ 10, alors que celle des victimes d'accidents de la route est égale à 35.000. Toutefois, tout accident mortel dû, par exemple, à une explosion, une fuite ou un écoulement de gaz est annoncé à la une des actualités. Par conséquent, les décisions logistiques de ces matières deviennent encore plus difficiles à implanter.

Un autre facteur contributif à la sensibilité publique est celui de la distribution inéquitable des risques associés aux matières dangereuses. Malgré les bénéfices et avantages des sites de transformation et d'entreposage, ce sont toujours les populations avoisinantes à ces sites qui en subissent les conséquences. Par exemple, les habitants qui résident à côté d'un site nucléaire perdent de la valeur de leurs propriétés. Ainsi, toute population allant

subir les mêmes conséquences s'oppose continuellement à chaque tentative d'emplacement d'un site à proximité de son lieu de résidence ou à un transport dangereux via les routes non lointaines. Plusieurs gouvernements sont peu enclins à imposer ce genre de problèmes aux protestants qui déclarent avec force leur opposition. À titre d'exemple, au Canada, le gouvernement provincial d'Ontario a tenté, durant les dix dernières années, d'installer un site de gestion interdisciplinaire des matières dangereuses, mais sans aucun succès jusqu'à présent.

À cause de leur nature, tels qu'ils ont été expliqués précédemment et seront encore éclaircis dans les deux chapitres suivants, ces problèmes nécessitent la réalisation d'une multiplicité d'objectifs comme la minimisation du risque, la minimisation du coût et la maximisation de l'équité.

L'intérêt majeur de la gestion stratégique des matières dangereuses est donc concerné par les risques qui leur sont associés, leur distribution (équité) et les coûts encourus durant leur gestion et planification de leur transport. Ainsi, nous présenterons dans le chapitre suivant la méthodologie de l'évaluation des risques imposés au public par les activités potentiellement dangereuses de même que les approches dominantes de modélisation de l'équité ainsi que les différents aspects du coût.

Avant de décrire le cadre de l'étude, nous trouvons indispensable de définir brièvement chacun des trois critères importants de l'analyse des problèmes de la logistique des matières dangereuses qui sont le risque, l'équité et le coût:

1.3.1 Le risque

Le terme risque peut avoir plusieurs significations selon différentes personnes, mais également selon le contexte de la situation dans laquelle on se trouve. Par exemple, dans le contexte des accidents industriels majeurs qui sont reliés au transport des matières dangereuses, le risque peut se référer au risque technologique, au risque financier, au risque

publique, au risque chimique, au risque environnemental, etc. Donc, il peut avoir comme sens les inconvénients plus ou moins probables auxquels est exposé l'environnement naturel, comme la destruction par le feu de forêts ou la pollution de l'eau; il peut signifier les engagements financiers des corporations transportant des matières dangereuses; ou encore les dangers auxquels sont exposés les populations, etc.

Même si le risque est un terme très populaire, il ne possède pas une définition universelle. Traditionnellement, il est défini par la probabilité d'un événement indésirable multipliée par la conséquence de cet événement. Dans le contexte de la logistique des matières dangereuses, cet événement indésirable se réfère à un accident causé par une matière dangereuse. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, même si les méthodes analytiques prédominantes qui tiennent compte du facteur risque sont nombreuses, on n'observe pas de consensus parmi les chercheurs et les décideurs sur ce que représentent les risques associés à ces matières. On retrouve cependant, dans la littérature, de nombreux modèles de risque.

1.3.2 L'équité

L'évaluation de la quantité du risque imposée au public, par les activités qui comportent des matières dangereuses, est considérée comme une étape primordiale pour le développement des modèles analytiques de gestion de ces dernières. Une estimation complète des risques publiques qui sont associés à une activité potentiellement dangereuse doit également traiter le problème de l'équité.

D'une manière générale, l'équité signifie la justice fondée sur les droits de chaque individu. Dans la littérature portant sur la logistique des matières dangereuses, le terme équité est connu sous le nom de l'équité d'une solution. Dans ce contexte, cette équité doit correspondre, telle que l'on éclaircira plus en détail dans le chapitre suivant, à une parfaite distribution spatiale du risque. En effet, par exemple, accabler un petit segment de la société de risques associés aux matières dangereuses alors qu'une grande partie de la population

récolte les bénéfices des activités que celles-ci comportent, n'est pas du tout conforme aux principes de l'équité. Morell (1984) suggère que la perception de l'iniquité peut être l'une des raisons primordiales d'une opposition publique face à une décision de localisation d'un site de traitement ou d'entreposage; d'où une décision plus équitable peut non seulement être supérieure à une décision moins équitable à partir d'un point de vue philosophique, mais aussi à partir d'un point de vue pratique si la majorité des décisions équitables a une meilleure chance d'être approuvée par le public.

1.3.3 Le coût

Dans la plupart des modèles de planification du transport des matières ordinaires, l'objectif principal des preneurs de décision est de transporter des produits d'une origine à une destination au plus bas coût. Toutefois, la réalisation de cet objectif demeure insuffisante à l'égard du transport des matières dangereuses.

Malgré le fait que le coût est considéré, d'une manière générale, comme le critère le plus facile à quantifier, celui-ci reste difficile à évaluer au niveau de la logistique des matières dangereuses. Son estimation demeure facile une fois qu'elle correspond à l'acquisition des sites de traitement et d'entreposage, leur construction, leur équipement ainsi que les opérations qui correspondent aux activités industrielles tels que le transport des matières, la maintenance des équipements utilisés, etc. Par contre, elle devient difficile, telle que l'on éclaircira dans le chapitre suivant, lorsqu'elle résulte de l'incertitude des impacts sur la société et l'environnement et des conséquences des accidents.

1.4 CADRE DE L'ÉTUDE

Étant donné la nature complexe des matières dangereuses, chaque décision logistique concernée par celles-ci doit tenir compte des trois critères d'analyse. Comme nous les avons déjà mentionnés auparavant, il existe plusieurs problèmes associées à ces critères. C'est dans cet esprit qu'une démarche d'étude a été élaborée et mise en oeuvre par une équipe

canadienne constituée de deux groupes (Université d'Alberta et Centre de Recherche sur les Transports de l'Université de Montréal), dans le but de développer des modèles qui aideront les preneurs de décision à résoudre les compromis difficiles entre ces critères conflictuels.

L'intention de toute l'équipe est de déterminer les façons les plus appropriées pour inclure ces critères dans ses modèles de planification. Plus précisément, l'objectif est de développer un modèle intégré d'analyse d'emplacement de sites de traitement et d'entreposage des matières dangereuses et de leur transport tout en considérant plusieurs origines et destinations, plusieurs matières dangereuses et plusieurs modes de transport. Ces modèles vont être élaborés par une perspective de recherche opérationnelle et d'analyse de décision.

Selon l'équipe, il existe à peu près une centaine d'articles qui traitent de la logistique des matières dangereuses dans la littérature de recherche opérationnelle. Même si cela fournit une connaissance assez suffisante dans ce domaine, la plupart de ces articles traitent seulement une ou quelques facettes du problème. Ce qui manque, selon l'équipe, est une approche intégrée permettant de combiner plusieurs facettes du problème, notamment les compromis entre les trois critères d'analyse conflictuels.

1.5 PROJET GLOBAL

Les problèmes de la logistique des matières dangereuses sont réellement des problèmes interdisciplinaires prélevés à partir d'une grande variété de disciplines telles que la toxicologie, la sociologie, la science politique, la géologie, la planification publique, la gestion des opérations et l'économie. Le projet global de toute l'unité de groupe insistera sur les aspects de prise de décision des problèmes, cités ci-dessus, et rassemblera les disciplines d'évaluation de risque, des systèmes d'information géographique, d'optimisation et de prise de décision à critères multiples, dans le but de produire un outil de recherche expérimentale qui peut être converti en un système d'aide à la décision (SAD).

Une recherche approfondie de littérature pertinente (Erkut et Verter, 1995) indique que la majorité des études, réalisées auparavant dans ce domaine, dérivent d'une ou de deux de ces disciplines. En effet, aucune de ces études n'offre une solution efficace, capable de résoudre ces problèmes complexes. L'intention de toute l'unité de groupe de recherche est d'atteindre cet objectif qui est de développer des modèles, notamment ceux qui aident lors de la planification du transport des matières dangereuses et de la gestion des sites de traitement et d'entreposage. Ces modèles se concentrent sur deux catégories, à savoir:

- La première catégorie des modèles permettrait de décider:
    - quelles liaisons de l'ensemble du réseau de transport (routes, lignes ferroviaires, etc.) doivent être accessibles au transport des matières dangereuses;
    - de savoir si l'accès à une liaison doit varier selon le type de matière transportée;
    - quelles routes doivent être empruntées par le transport de ces matières;
    - quels types de véhicules et de conteneurs doivent être utilisés;
    - où doivent être localisées les stations d'inspection;
    - où doivent être localisées les stations des urgences.

- La seconde catégorie des modèles permettrait de décider:
    - où localiser les sites de traitement et d'entreposage;
    - quel type de matières dangereuses doit être traité dans chaque site;
    - quelles technologies doivent être utilisées dans chaque site; et
    - quelles doivent être les capacités de ces centres.

Les utilisateurs de ces modèles peuvent provenir du gouvernement ou du secteur privé; par exemple:

- une agence du gouvernement fédéral, responsable du développement d'une politique de traitement des matières dangereuses pour tout le pays;
- un département gouvernemental et provincial responsable de l'établissement des centres de traitement des matières dangereuses dans la province;
- un département de transport d'une ville responsable de la désignation des routes utilisées pour le transport de ces matières pour la ville;
- une compagnie de transport des matières dangereuses dont le besoin est de transporter ces matières d'une origine à une destination; et
- une compagnie d'assurance désirant fixer des primes afin de minimiser le risque perçu par les transporteurs.

La présence de ces différents utilisateurs demande à l'unité de groupe de recherche à se concentrer sur leurs différents objectifs et également sur leur interdépendance. Par exemple, les membres de l'équipe de recherche envisagent que les utilisateurs du niveau stratégique doivent être capables d'utiliser leurs modèles comme un outil de simulation afin de prévoir la réaction des utilisateurs du niveau opérationnel envers un changement de régularisation gouvernementale ou l'implantation d'un nouveau site. Ceci est considéré comme l'un des facteurs complexes d'un système de la logistique des matières dangereuses.

Un autre facteur complexe dans ces modèles correspond au fait que plusieurs décisions logistiques doivent être considérées conjointement et non séparément. Par exemple, un régulateur ne peut pas arbitrairement interdire l'utilisation de certaines routes pour le transport d'un type de matières dangereuses sans tenir compte du risque additionnel qui sera exposé aux routes restant accessibles pour ces matières. En intégrant les différents modèles, afin d'aborder ces problèmes en un seul SAD, l'équipe de recherche espère fournir

aux preneurs de décision un moyen leur permettant de considérer ces problèmes simultanément.

Les modèles qui seront développés, par toute l'équipe de recherche, afin d'aborder les problèmes de la logistique des matières dangereuses, contiennent les composantes suivantes:

- Planification du transport:
    - planification des modes de transport et des véhicules;
    - planification individuelle des routes;
    - planification globale des routes;
    - planification des secours; et
    - stations d'inspection.
- planification des sites:
    - emplacement des sites;
    - choix de la technologie utilisée dans ces sites;
    - la capacité des sites; et
    - traitement des matières dangereuses.

1.5.1 Planification des modes de transport et des véhicules

Cette composante traite de la sélection des modes et des véhicules entre une paire d'origine-destination donnée pour une matière dangereuse déterminée. Elle évalue également les mesures de performance des modes de transport disponibles pour celui-ci. Dans la majorité des cas, une comparaison sera faite entre le mode (route) et le mode (rails). Cependant, les expéditions inter-modales seront incluses dans l'analyse. De plus, cette

composante permettra également de choisir le type de véhicule ou de conteneur qui sera utilisé lors de l'expédition des matières.

1.5.2 Planification individuelle des routes

Cette composante traite de la sélection de(s) route(s) entre une paire d'origine-destination donnée pour un mode de transport et un type de véhicule spécifiés. Ce problème de planification, utilisant un seul type de matières dangereuses et une seule paire d'origine-destination, constitue un problème du chemin le plus court à plusieurs critères et contraintes. Le SAD permettra à l'utilisateur de choisir les chemins les plus courts et donc de finaliser la sélection du chemin approprié à travers une analyse de sensibilité. Même s'il existe un certain nombre d'articles qui traitent certaines facettes du problème, les procédures suggérées ne sont pas souvent implantées sous la forme d'un SAD interactif.

1.5.3 Planification globale des routes

Nous considérons cette composante comme la plus importante parmi d'autres, dans la mesure où elle se relie directement à la problématique spécifique de ce mémoire. Elle tient compte de toutes les expéditions des matières dangereuses dans un réseau de transport. D'une autre manière, elle détermine toutes les routes entre plusieurs origines et destinations tout en tenant compte, d'une manière convenable à l'ensemble des routes, des trois critères qui sont le risque, l'équité et le coût. Ce type d'outil peut être utilisé dans plusieurs domaines. Par exemple, il peut-être utilisé de manière stratégique, dans le but d'aider les preneurs de décision à désigner le réseau de transport ainsi que les régularisations qui le gouvernent. Dans un tel scénario, les transporteurs individuels voudront toujours choisir leurs propres routes, mais cette composante pourrait être utilisée afin d'étudier le système par une simulation des routes que les transporteurs auraient choisi. Les régulateurs peuvent donc analyser les effets des changements sur le réseau routier telles que la permission d'utilisation de certaines routes ou l'interdiction de certaines matières dangereuses sur certains liens du réseau.

D'après l'équipe de recherche, cette composante pourrait être spécialement convenable à une analyse du système total du risque et de l'équité. Permettant les transporteurs individuels de choisir leurs propres routes peut engendrer, par exemple, un surchargement de certains segments routiers du réseau de transport et donc ceci peut-être indésirable à cause d'une affluence excessive des véhicules gênant la circulation routière ou encore à cause d'une distribution inéquitable du risque. Les régulateurs vont donc essayer de trouver des façons de faire le système plus sécurisant et/ou plus équitable.

Il est clair que cette composante est plus difficile à implanter par rapport aux deux premières du projet global. Ce problème, tenant compte de plusieurs origines et destinations ainsi que de plusieurs types de matières dangereuses, est difficile à modéliser surtout si l'on considère les différentes façons de modéliser le risque et l'équité. D'après Erkut (1993), aucun des articles portant sur le transport des matières dangereuses ne considère conjointement les problématiques de planification globale des routes. Ceci est insuffisant puisqu'une telle approche est dans l'incapacité d'expliquer un accroissement des différents risques et leur distribution spatiale. L'équipe de recherche s'attend à ce que cette recherche, dans ce domaine de planification globale des routes, serait une contribution majeure aux connaissances de ce champ d'activité.

1.5.4 Planification des secours

À cause de la nature des matières dangereuses, des équipes de secouristes spécialisées sont nécessaires afin de maîtriser et de nettoyer, par exemple, un écoulement ou un échappement de substances nocives qui peuvent résulter d'un accident de transport. Même si la probabilité d'accident est très faible (10^{-6} par kilomètre, pour un transport par camion), des accidents peuvent se produire puisque le nombre de transport est très élevé. Dans le cas des matières dangereuses, le temps de réaction de ces équipes spécialisées est extrêmement important et est donc une fonction directe de la distance reliant la station et le lieu d'accident. D'où la détermination de l'emplacement de ces stations est un problème crucial.

1.5.5 Stations d'inspection

La localisation des stations d'inspection, nécessaires à la vérification du transport des matières dangereuses, est un autre problème important duquel on doit tenir compte dans la désignation d'un système de transport. Une cause évitable des accidents de transport de ces dernières est la violation des règles. Le rôle d'une station d'inspection est de détecter de telles violations et d'interrompre également le voyage d'un véhicule ayant violé une règle. S'il y a un grand nombre de transports sur un réseau routier, la localisation des stations d'inspection devient alors un problème essentiel. Un objectif approprié sera donc la minimisation du nombre de voyages des véhicules non inspectés.

1.5.6 Planification des sites

Nous avons déjà mentionné plusieurs fois auparavant que lorsqu'on a besoin de construire un site de traitement et/ou d'entreposage des matières dangereuses, des décisions doivent être prises afin de choisir son emplacement et de déterminer également les technologies qui peuvent être utilisées ainsi que les capacités qui doivent être respectées. Cependant, ces décisions ne sont pas indépendantes les unes des autres. Afin de réaliser cela, une décision doit être prise à propos de la région où le site va desservir. S'il existe, par exemple, des régularisations qui interdisent le transport des matières dangereuses entre plusieurs provinces, alors le service de transport sera limité à la province dans laquelle le site est situé. Une fois que les types et les volumes de ces matières sont estimés, les technologies nécessaires peuvent être considérées. Cette tache est complexe par le fait qu'un seul type de matières dangereuses peut-être traité en utilisant différentes technologies tels que l'incinération ou la désintoxication solaire ou encore l'ensevelissement des déchets.

Une autre décision dont on doit tenir compte se relie au nombre de sites qui peuvent être construits. Un grand site peut engendrer, grâce aux économies d'échelle, de faibles coûts, mais peut également ne pas être conforme à une équité ou à un point de vue de transport. Également, on doit décider si un site aura un nombre de technologies de traitement

comme une unité de neutralisation chimique, une unité de stabilisation et une unité d'incinération, ou juste une seule technologie. De plus, l'intégration des sites engendre des économies d'envergure parce que certains composants tels que les laboratoires de test, les ensevelissements, etc. peuvent être utilisés pour un ensemble de matières ainsi que leurs résidus.

Cette détermination conjointe du nombre de sites, de leur emplacement, de leurs technologies et de leurs capacités demeure un problème très difficile à résoudre. Même s'il existe un nombre important d'articles qui décrivent des modèles pouvant être appliqués à la localisation des sites des matières dangereuses, il n'en existe aucun qui tient compte de plusieurs types de matières dangereuses. Les plus importants de ces articles (Ratick et White, 1988, et Erhan et Neuman, 1992) traitent ce problème, mais pour un seul type de matières dangereuses et sans tenir compte, non plus, des technologies utilisées.

L'intention de l'équipe de recherche est de modéliser ce problème comme un problème de programmation à objectifs multiples et à nombres entiers mixtes (fractionnaires). Il est clair que les trois critères, décrits précédemment, sont aussi pertinents pour les décisions d'emplacement des sites que pour les décisions de choix des routes de transport.

Un autre problème important, à l'égard de la localisation des sites indésirables, est celui de l'opposition publique envers un site. Même si cette opposition est due aux risques associés au site, on peut trouver des différences considérables entre les risques calculés par les experts et ceux perçus par le public. Afin de localiser convenablement le site, l'équipe de recherche a besoin de modéliser cette opposition publique dans un SAD. Dans ce cas, une mesure de probabilité est nécessaire; elle doit être sous la forme d'une fonction représentant la distance entre le centre de population et le site ainsi que la technologie et la capacité adoptées à celui-ci. Selon Erkut (1993), il n'existe qu'un seul article (Rahman et Kuby, 1995) qui traite l'élaboration d'une fonction d'opposition pour un site indésirable. Celui-ci nécessite plus d'achèvement.

1.6 PROBLÉMATIQUE DU MÉMOIRE

Telle que mentionnée précédemment, la problématique de ce mémoire se relie directement à la planification globale des routes dans le cadre de l'étude de l'équipe de recherche; plus explicitement à la détermination, tout en tenant compte des trois critères d'analyse, de toutes les routes qui seront empruntées par le transport des matières dangereuses dans un réseau routier.

À l'égard du transport des matières ordinaires, le choix des routes accessibles à ce dernier demeure un exercice relativement facile. Si l'on procède par une détermination de ces routes individuellement (une route à la fois) ou simultanément (toutes les routes en même temps), on ne rencontre pas souvent de grandes difficultés puisque l'intérêt majeur est de choisir celles qui sont plus courtes afin de minimiser le coût de transport. Par contre, lorsqu'il s'agit du transport des matières dangereuses, la situation diffère et devient beaucoup plus complexe. Telle qu'annoncée plusieurs fois dans le présent chapitre, la complexité de la décision de sélection des routes réside dans l'utilisation des critères d'analyse conflictuels de la logistique des matières dangereuses. Par exemple, choisir le chemin le plus court, afin d'atteindre le coût le plus faible, peut engendrer l'utilisation d'une ou de plusieurs route(s) passant à travers de larges centres de population et augmentant donc le nombre de personnes exposées au risque.

Lors de la sélection d'une route qui sera empruntée par le transport d'une matière dangereuse, le choix se fait de telle sorte que la route passe le plus loin possible des populations afin de minimiser le risque imposé à celles-ci. Si l'on choisit d'une façon individuelle plusieurs routes d'un réseau routier, la minimisation de ce risque se fera en fonction de chaque route. En d'autres termes, on essaie de sélectionner certains segments, pouvant former la route, qui constituent le moindre risque possible. Toutefois, si l'on décide de choisir simultanément plusieurs routes, cette minimisation du risque se fera par rapport à toutes les routes. C'est-à-dire, en fonction d'un grand nombre de segments possibles qui peuvent imposer le peu de risque aux populations.

De ce fait, les déterminations simultanées de plusieurs routes d'un réseau routier qui sont accessibles au transport des matières dangereuses demeurent un exercice difficile. D'une part, nous devons prêter attention aux compromis qui existent entre les différents critères d'analyse reliés à chaque route et d'autre part, aux compromis associés à l'ensemble des routes. Donc, nous devons porter attention à l'accroissement des différents risques sur certains segments de route et évidemment à leur distribution spatiale.

Afin d'éclaircir ce précédent point, prenons l'exemple suivant. Nous avons deux quantités de la même matière dangereuse que nous devons transporter à partir de deux origines différentes vers deux destinations également différentes. Après le choix, d'une façon individuelle, des deux routes pouvant être utilisées au fin du transport, nous avons constaté que ces routes sont formées, par exemple, d'un certain nombre de segments de routes chacune et dont deux qui sont pareils pour les deux routes. Si l'on décide de déterminer le volume de la matière transportée sur ces deux segments, dans le cas d'une seule route, il sera égal à celui qui est transporté sur les autres segments et donc identique à celui de toute la route. Par contre, si l'on décide de déterminer la quantité de la matière transportée sur ces deux mêmes segments, mais pendant une sélection simultanée des deux routes, on ne trouvera pas la même quantité transportée que dans le premier cas. Celle-ci va évidemment correspondre à la somme des deux quantités. À ce niveau, nous avons donc un accroissement du volume transporté sur ces deux segments. D'ou un accroissement du risque, de transport de la matière dangereuse, imposé aux populations qui résident à proximité de ces deux segments de route.

Un réseau routier est représenté par plusieurs segments et donc par plusieurs routes possibles si l'on a plusieurs origines et destinations. À partir de l'exemple précédent, nous pouvons prévoir que lors de plusieurs choix simultanés des routes, nous aurons plusieurs accroissements de risques qui sont dus aux effets croisés rencontrés pendant le transport. Ces effets croisés s'expliquent par l'apparition de plusieurs flux de transport qui peuvent passer à travers les mêmes segments de route quand ces derniers répondent à la minimisation des critères d'analyse. C'est-à-dire, quand ils réalisent les moindres coûts et risques possibles.

Compte tenu du grand nombre de routes dans un réseau routier, il doit donc exister plusieurs effets croisés.

Selon notre jugement, nous pensons que la somme des risques imposés aux populations pendant la sélection individuelle des routes ne sera pas égale à celle de la sélection globale de ces mêmes routes. La seule raison qui pourra nous aider à expliquer cette différence est que, par exemple, le risque imposé à un seul groupe de population peut doubler ou même quadrupler et plus; ceci selon la quantité transportée qui passe à côté de son voisinage immédiat. Afin d'appuyer cette idée, considérons un autre exemple simple. Si le volume de la matière dangereuse augmente, le nombre de véhicules utilisés afin de la transporter augmente aussi. Le risque imposé par trois véhicules est trois fois supérieur que celui imposé par un seul puisque la probabilité d'un accident est trois fois supérieur. De plus, la prolifération du risque de transport sur certains segments de route va rendre encore plus la distribution spatiale de celui-ci moins équitable.

Lors des deux dernières décennies, plusieurs études ont été réalisées dans le but de sélectionner des routes accessibles au transport des matières dangereuses, mais aucune d'entre elles ne traite des différences qui peuvent exister entre une sélection individuelle (une route sélectionnée à la fois) et une sélection globale (plusieurs routes sélectionnées simultanément). L'objectif poursuivi par ce mémoire n'est pas de développer un modèle capable de déterminer toutes les routes qui seront empruntées par le transport des matières dangereuses dans un réseau, mais de vérifier si l'on peut, par l'intermédiaire d'une ou de plusieurs simulation(s), de faire une approximation des effets croisés, tout en considérant le problème d'équité, rencontrés lors d'une sélection globale des routes. Pour ce faire, nous devons faire une comparaison entre les sélections individuelles et simultanées des routes dans le but de déterminer les différences qui existent entre les deux et par la suite, essayer de faire une approximation de ces effets croisés.

À ce sujet, on pourrait donc se poser les questions suivantes: Quel type de risque doit-on utiliser? Quelle mesure d'équité peut-on choisir? D'une manière générale, avant de traiter le problème, nous devons faire un choix des mesures que l'on devra utiliser dans notre analyse et établir une bonne méthodologie nous permettant ainsi d'atteindre notre objectif.

1.7 CONCLUSION

L'objet de ce chapitre a été de présenter la problématique générale de la logistique des matières dangereuses, à savoir: la gestion des matières dangereuses et la planification de leur transport qui se fondent sur une analyse d'évaluation du risque, de l'équité et du coût. En outre, ce chapitre présente également la problématique spécifique de ce mémoire qui porte sur la détermination de l'approximation des effets croisés rencontrés lors d'une sélection globale des routes qui sont accessibles au transport des matières dangereuses.

CHAPITRE II

CRITÈRES D'ANALYSE

2.1 INTRODUCTION

Dans l'analyse des problèmes de la logistique des matières dangereuses, les critères les plus importants auxquels on doit prêter attention sont le risque, imposé aux individus et à l'environnement, la distribution spatiale de ce risque, connue dans la littérature sous le nom de l'équité, et le coût associé au transport de ces mêmes matières. Tel que nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, ces trois critères forment l'élément principal de l'analyse de leur gestion et de planification de leur transport.

Dans le présent chapitre, nous allons présenter comment les risques, imposés au public par les activités potentiellement dangereuses, sont évalués de même que les approches dominantes de modélisation de l'équité et les différents aspects du coût.

2.2 LE RISQUE

Dans la littérature de la logistique des matières dangereuses, on trouve que les techniques quantitatives d'évaluation des risques jouent un rôle d'importance grandissante dans l'analyse de sécurité des systèmes industriels comme les réseaux de transport et les établissements industriels fixes.

Nous pensons que la recherche opérationnelle peut jouer un rôle considérable dans les processus décisionnels stratégiques et tactiques traitant les matières dangereuses. Ceci n'est pas une révélation puisqu'il existe une littérature importante dans la recherche opérationnelle qui porte sur le transport de ces matières. Toutefois, même si la plupart des méthodes analytiques de transport des matières dangereuses tiennent comptent du facteur risque, on n'observe pas de consensus parmi les chercheurs sur ce que

représentent les risques associés au transport de celles-ci. On retrouve cependant dans la littérature de nombreux modèles de risque. La présente section fournit un aperçu détaillé de ces différents modèles.

2.2.1 Le modèle du risque traditionnel

La majorité des chercheurs définissent le risque par la probabilité et l'ampleur d'un événement indésirable. Malgré le fait que certains auteurs le définissent par la probabilité ou la conséquence, sa définition qui est représentée par la probabilité et l'ampleur de la conséquence indésirable est plus commune (Covello et Markhofer, 1993). C'est à cette définition que le risque traditionnel fait référence. Dans le cas du transport des matières dangereuses, l'événement indésirable se rapporte à un accident associé à celles-ci et qui est toujours connu sous le non d'un incident.

Même s'ils existent plusieurs conséquences indésirables qui résultent d'un incident, telles que les blessures, la destruction de l'environnement et les pertes économiques, la majorité de la littérature dans ce domaine est juste concernée par les décès. Nous pensons que ceci est dû au fait que l'impact direct des matières dangereuses sur la vie humaine n'est toujours pas bien déterminé. Toutefois, des recherches approfondies sont nécessaires à ce domaine. Selon Erkut et Verter (1996), il est normal de supposer que la conséquence indésirable est proportionnelle à la taille de la population qui se trouve à proximité de l'incident. À ce sujet, nous partageons le même point de vue puisqu'à l'arrivée d'un incident, plus la taille de la population est grande plus le nombre de personnes affectées par ce dernier sera élevé et donc plus il y aura de décès. La taille de la zone affectée par cet incident dépend évidemment de la substance transportée; et la probabilité de l'incident dépend non seulement de celle-ci, mais aussi du type de la route empruntée par le transport. À partir de ces idées, ces mêmes auteurs élaborent un modèle de risque traditionnel pour le transport des matières dangereuses.

Avant de présenter, dans la section qui suit, les différentes parties de l'élaboration de ce modèle, nous aimerions préciser qu'un segment de route correspond à un fragment de cette route et qu'un ensemble de segments contient plusieurs fragments de cette même route.

2.2.1.1 Le risque de transport sur un segment de route

En s'inspirant de la définition traditionnelle, le risque de transport d'une matière (B) au long d'un segment de route (A), par exemple un mile, peut être exprimé comme suit:

(2.1) $$R_{AB} = p_{AB} C_{AB}$$

où: R_{AB} = le risque de transport de la matière (B) au long d'un segment de route (A),

p_{AB} = la probabilité d'un incident sur le segment de route (A) pour la matière (B), et

C_{AB} = la population au long du segment de route (A) à l'intérieur du voisinage associé à la matière (B).

Supposons, par exemple, que si le nombre de la population exposée au risque du transport de la matière dangereuse (B) au long du segment de route (A) est égal à 100.000 personnes et la probabilité de l'incident sur ce segment de route correspond à 10^{-4} par mile, le risque de transport de la matière (B) au long du segment de route (A) sera alors égal à 10. Ce chiffre correspondra donc au nombre de personnes affectées (décédées dans le cas majeur).

Pour la majorité des matières dangereuses, les estimations des probabilités d'incident ont des valeurs qui se situent entre 0,1 et 0,8 par million miles. La conséquence d'incident dépend de la densité de la population située à proximité du segment de la route. Elle peut être estimée en utilisant l'impact du transport des matières dangereuses sur la zone en question (segment). Selon Erkut et Verter (1996), cet impact peut être représenté par un cercle dont le rayon mesure entre 0 et 7 miles. Si l'on considère cet impact comme un cercle de danger, on peut visualiser l'activité de transport des matières dangereuses comme un mouvement de ce cercle se déplaçant, d'une origine à une destination, le long d'un chemin qui se trouve dans un réseau routier (voir figure 2.1).

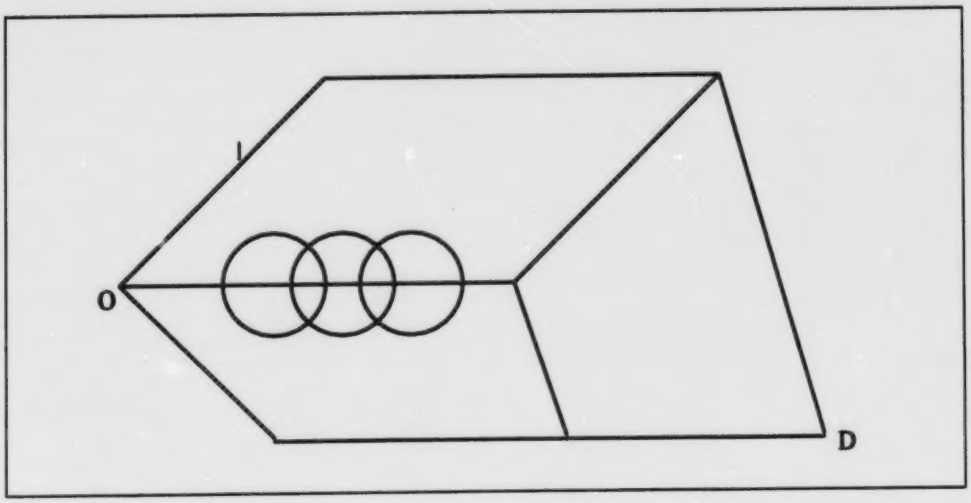


Figure 2.1 Représentation du transport d'une matière dangereuse entre une origine (O) et une destination (D) par le mouvement du cercle de danger dans un réseau routier. (Tirée d'Erkut et Verter, 1996.)

Il est évident que l'utilisation du cercle de danger, afin d'estimer la conséquence d'incident d'une matière dangereuse, nécessite des justifications. Son utilisation est en fait une simplification qui est due à cause d'un manque de données nécessaires à l'estimation. Supposons, par exemple, que nous sommes en train de déterminer l'effet d'un conteneur d'ammoniaque sous pression sur une zone déterminée et à un moment donné. Afin d'estimer exactement le nombre de décès qui peuvent résulter, nous aurons besoin d'évaluer la concentration de ce gaz, la distance à partir du conteneur, la direction des vents et également la topographie. Selon la vélocité des vents et la densité du gaz, nous aurons besoin de plusieurs modèles afin d'estimer la concentration sur différentes distances (Glickman et Raj, 1991). En multipliant ces probabilités par le nombre de personnes qui sont situées à différentes distances du conteneur, on peut trouver un nombre estimé de décès. À partir de cet exemple, nous remarquons que ce processus d'estimation nécessite plusieurs informations exactes telles que la localisation des personnes, les conditions météorologiques, etc. De plus, même s'il est possible d'estimer le risque d'incident en fixant certains paramètres du modèle, comme le taux d'échappement de la matière dangereuse et la vitesse des vents ainsi que leur direction , il est pratiquement irréalisable de générer simultanément toutes ces informations en fonction de tous les liens d'un réseau routier (Erkut et Verter, 1996). D'où la nécessité

de l'utilisation du concept du cercle de danger, où l'on suppose que chaque individu résidant à l'intérieur de ce cercle est exposé à la même conséquence indésirable (le décès dans le cas majeur) indépendamment de la distance du lieu de l'incident, des conditions météorologiques, de la topographie, etc.

L'approximation du cercle de danger nécessite l'estimation de la population qui réside à proximité de la route empruntée par le transport des matières dangereuses. Il faut noter que le nombre exacte de la population d'une certaine région dépend du moment de la journée puisque les gens se déplacent pour aller exercer leur fonction. Du fait que la plupart des estimations de population sont basées sur des recensements, elles peuvent ne pas fournir des chiffres exactes pour un moment donné de la journée (par exemple, le matin ou l'après-midi). Ceci n'est pas une limite imposée par l'approximation du cercle de danger, mais plutôt par l'indisponibilité des données. Toutefois, nous mentionnons, à ce niveau, que ceci peut introduire des inexactitudes aux modèles qui sont basés sur le concept du cercle de danger, ou en général, aux modèles qui nécessitent des estimations spécifiques des localisations des populations.

Après avoir argumenté les avantages du concept du cercle de danger et défini le risque associé au transport sur un segment de route, nous poursuivons avec l'estimation du risque de transport sur un ensemble de segments de route dans un réseau routier. Dans le contexte de la planification des routes accessibles au transport des matières dangereuses, il est souhaitable d'avoir des probabilités d'incident et des densités de population uniformes pour un même ensemble de segments de route. Par exemple, un long chemin d'une autoroute qui passe à travers une série de centres de population ne doit pas être représenté par un seul ensemble de segments, mais plutôt par plusieurs. Par conséquent, un réseau qui va être utilisé pour le transport des matières dangereuses demeure toujours différent de celui qui est utilisé pour le transport des matières ordinaires. Cette différence est assez importante puisqu'elle limite l'utilisation des données d'un réseau entre les différentes applications de transport (Erkut et Verter, 1996).

2.2.1.2 Le risque de transport sur un ensemble de segments de route

Après avoir démontré l'évaluation du calcul du risque associé au transport sur un segment d'une route, nous allons démontrer, dans cette section, comment on peut évaluer celui d'un ensemble de segments.

Tel que nous l'avons déjà mentionné auparavant, ces auteurs considèrent qu'un ensemble contient plusieurs segments de route, chacun avec une probabilité d'incident p et une population C dans le cercle de danger (voir figure 2.2). Pour des raisons de simplicité, ils suppriment les indices pour les types de matières dangereuses et de routes.

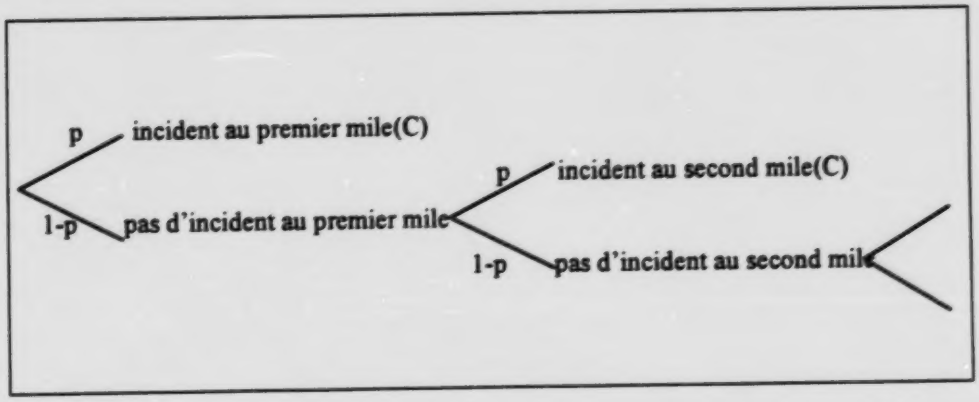


Figure 2.2 Arbre partiel de probabilité qui montre les résultats possibles d'un transport d'une matière dangereuse au long d'un ensemble de segments de route, où p = la probabilité d'incident par mile, et C = la population affectée dans le cas d'un incident. (Tirée d'Erkut et Verter, 1996.)

À partir de la figure 2.2, nous remarquons que le véhicule transportant la matière dangereuse peut avoir un incident au cours du premier mile ou peut le dépasser, évitant ainsi l'incident jusqu'au second mile. En effet, s'il atteint le second mile sans incident, il peut en avoir un au cours de ce dernier ou non; et ainsi de suite. Il est supposé que le mouvement (transport) s'arrête si un incident arrive. La conséquence attendue (risque) qui est associée à cet ensemble de segments de route sera exprimée de la façon suivante:

(2.2) $$pC + (1-p)pC + (1-p)^2 pC + \ldots + (1-p)^{n-1} pC$$

où: p = la probabilité d'incident par mile,

C = la population affectée dans le cas d'un incident, et

n = le nombre de segments (par exemple, le nombre de miles).

La formule 2.2 nous permet de calculer le risque sur un ensemble de segments. Supposons un ensemble constitué de 5 segments (n=5). Si la probabilité d'incident (p) est égale à 10^{-4} par mile et la population affectée dans le cas d'un incident (C) correspond à 150.000 personnes, le risque sur cet ensemble de segments de route sera de:

$15 + 14{,}9985 + 14{,}997 + 14{,}9955 + 14{,}994 = 74{,}985$ soit $\cong$ 75 personnes affectées.

Nous remarquons qu'avec p, n et C donnés, on peut facilement calculer l'équation 2.2. Cependant, il est possible de la simplifier en utilisant l'approximation suivante:

(2.3) $$p^s \cong 0, \text{ pour } s > 1.$$

Cette approximation peut-être justifiée par le fait que p est au plus de l'ordre de un sur un million miles. D'où le risque associé à un transport sur cet ensemble de segments devient:

(2.4) $$(pn)C$$

En utilisant, les mêmes données qu'auparavant, le risque de transport sur ce même ensemble de segments sera de:

$$(10^{-4} \times 5) \times 150.000 = 75 \text{ personnes affectées.}$$

Ainsi, on peut exprimer le risque d'un seul voyage au long de l'ensemble de segments i comme suit:

(2.5) $$R_i = p_i C_i$$

où: p_i = la probabilité d'un incident sur l'ensemble de segments i (probabilité d'un incident sur un segment de l'ensemble de segments i) (nombre de segments de l'ensemble i), et

C_i= le nombre de personnes le long de l'ensemble de segments i et à l'intérieur du cercle de danger.

En gardant toujours les mêmes données, le risque sera de:

$$R_i = 0{,}0005 \times 150.000 = 75 \text{ personnes affectées.}$$

Nous rappelons, encore une fois, qu'enfin d'exprimer le risque de l'ensemble de segments de route dans cette forme simple, tel qu'indiqué ci-dessus, on a besoin d'avoir une probabilité d'incident et une densité de population uniformes tout le long de cet ensemble de segments. Si le réseau de transport est désigné de façon à ce que ces deux attributs ne sont pas uniformes, le calcul du risque sera peut-être plus complexe. Cependant, nous pensons que des recherches approfondies sont nécessaires afin de permettre l'utilisation des attributs multiformes.

2.2.1.3 Le risque de transport sur un chemin

Après avoir exprimé le risque associé au transport sur un segment et un ensemble de segments d'une route, on peut se poser la question suivante: Comment peut-on exprimer le risque de transport sur un chemin entier entre une origine et une destination? Avant de répondre à cette question, nous désirons mentionner qu'un chemin est constitué de plusieurs ensembles de segments et que le transport sur celui-ci peut-être également représenté, comme dans le cas d'un ensemble de segments de route, par une expérience de probabilité (voir figure 3.3).

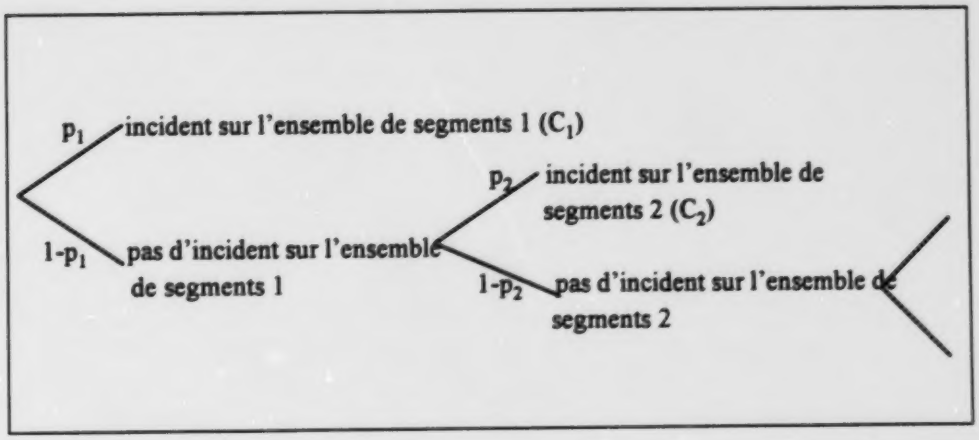


Figure 2.3 Arbre partiel de probabilité qui montre les résultats possibles d'un transport d'une matière dangereuse au long d'un chemin, où p_i = la probabilité d'incident au long de l'ensemble de segments i, et C_i = la population affectée par un incident sur l'ensemble i. (Tirée d'Erkut et Verter, 1996.)

La conséquence attendue (risque) et associée à un transport tout le long d'un chemin peut donc être exprimée de la manière suivante:

(2.6) $$p_1C_1 + (1 - p_1)\, p_2C_2 + (1 - p_1)\,(1 - p_2)\, p_3C_3 + \ldots.$$

À partir de la formule 2.6, nous remarquons que nous avons des probabilités d'incident et des populations qui varient d'un ensemble de segments à un autre, puisqu'il s'agit d'un chemin qui peut-être constitué de plusieurs ensembles de segments de route. Par exemple, si les valeurs de probabilité d'incident sont de 0,0005, 0,0004, 0,0007 et 0,0008 et les populations correspondent à 100.000, 120.000, 135.000 et 140.000 respectivement pour le premier, deuxième, troisième et quatrième ensemble de segments de route, le risque associé au transport sur ce chemin sera de:

$$50 + 47{,}976 + 94{,}41 + 111{,}84 = 304{,}226 \text{ soit} \equiv 304 \text{ personnes affectées.}$$

Pour des raisons de simplicité, la majorité des articles qui portent sur le transport des matières dangereuses utilisent une approximation, notamment ($(1-p_i) \equiv 1$, pour tous i). Avec une telle approximation, la formule 2.6 devient alors égale à la somme des valeurs estimées des conséquences d'un incident, comme suit :

(2.7) $$p_1C_1 + p_2C_2 + p_3C_3 + \ldots.$$

Dans le cas du même exemple précédent, le risque de transport sur le chemin, composé de 4 segments de routes, sera exprimé comme suit:

(2.8) $$\sum_{i=1}^{4} (p_i\, C_i)$$

En utilisant toujours les mêmes données que précédemment, le risque de transport sur ce chemin sera de :

$$50 + 48 + 94{,}5 + 112 = 304{,}5 \text{ soit} \equiv 305 \text{ personnes affectées.}$$

À partir de la formule 2.8, Erkut et Verter (1996) se demandent s'ils peuvent calculer le risque de transport sur un long chemin. Ils désirent donc savoir quelle pourra être l'erreur introduite par une telle approximation dans une solution dans le cas d'un long chemin (par exemple, 2.500 miles).

Afin de répondre à cette question, ils utilisent un chemin composé de 2.500 segments de route (miles) où p_i est considérée égale à p. La figure 2.4 représente un graphique des probabilités d'incident réelles et simplifiées sur ce chemin. La probabilité d'incident utilisée est égale à 10^{-4} par mile et la distance (d) varie de 0 à 2.500 miles. La probabilité simplifiée est une fonction de distance linéaire, notamment (pd), et la probabilité réelle est une fonction concave de d.

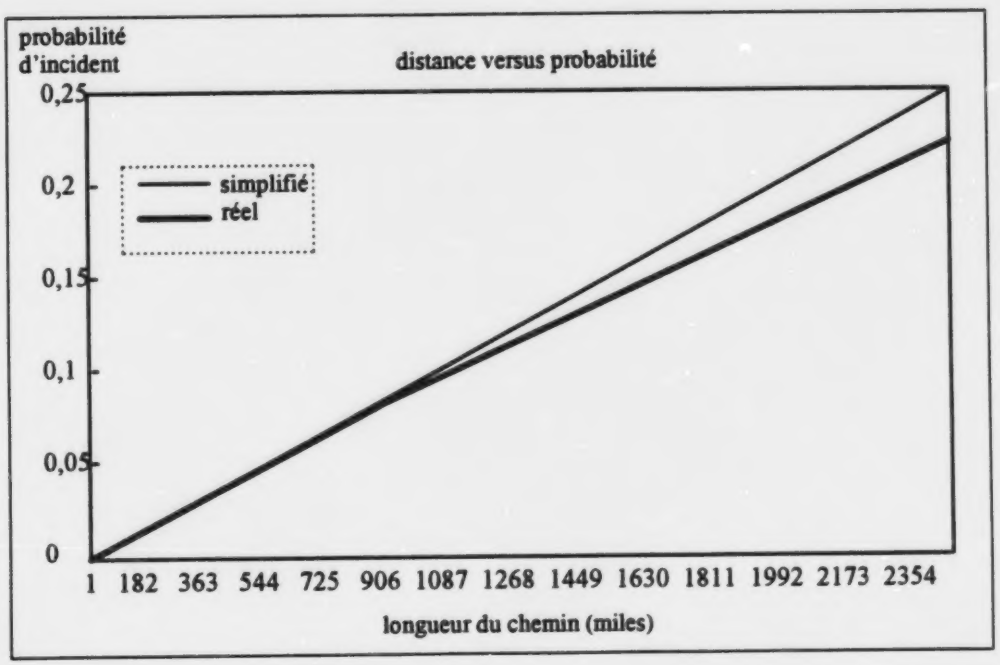


Figure 2.4 représentation des probabilités d'incident réelle et simplifiée comme une fonction de distance. (Tirée d'Erkut et Verter, 1996.)

La figure 2.4 nous fait penser que les erreurs introduites peuvent être importantes. Cependant, les probabilités d'incident sont beaucoup plus petites que 10^{-4} par mile. En fait, quand on utilise une probabilité de 10^{-6} par mile, les deux fonctions deviennent impossible à différencier. C'est pour cette raison qu'une probabilité de 10^{-4} a été utilisée dans cette figure. Avec une probabilité d'incident égale à 10^{-6}, la probabilité réelle d'un incident sur un chemin de 2.500 miles correspond à 0,00249688 alors que l'approximation linéaire se rapporte à 0,0025 (seulement 0,125% de plus). De plus, la plus grande erreur de probabilité d'incident, qui a été réalisée sur le dernier mile du chemin, est seulement de 0,25%. Donc, il semble que les erreurs introduites par l'approximation ne sont pas importantes pour toutes les distances et les probabilités d'incident. D'où le risque traditionnel de transport d'une matière dangereuse sur un chemin P peut être exprimé comme suit:

(2.9) $$TR(P) = \Sigma_{i \in P} p_i C_i$$

2.2.2 Le modèle de la population exposée au risque

Nous avons dit, tout au long du premier chapitre de ce mémoire, que le risque est une problématique qui est due au danger imposé à la société. Cependant, il est clair que la définition du risque traditionnel ne fournit pas une représentation exacte de ce danger. En effet, la multiplication d'une probabilité d'incident avec le chiffre représentant la population et donc la valeur estimée qui résulte ne correspond toujours pas à de grands segments de population (Revelle et al., 1991). Un concept simple, à savoir le modèle de la population exposée au risque, développé par Batta et Chiu (1988), peut être utilisé. Celui-ci, qui est représenté par le nombre total de la population exposée aux risques durant l'activité de transport, a été utilisé par Revelle et al. (1991) dans une étude dirigée par le département américain de l'énergie. Le modèle peut être particulièrement pertinent si la matière dangereuse, comme par exemple une substance nucléaire, impose un risque à la population qui est située à proximité de la route à travers laquelle passe cette substance. Dans ce scénario, la probabilité d'exposition de la population au risque de transport est représentée par p et est considérée égale à 1 (c'est-à-dire une exposition à une radiation minimale avec certitude).

Le modèle développé est le suivant:

(2.10) $$PE(P) = \sum_{i \in P} 2C_i d_i / \pi r$$

où: d_i = la longueur de l'ensemble de segments de route i,

r = le rayon du cercle de danger, et

C_i = le nombre de personnes à l'intérieur du cercle de danger au long de l'ensemble de segments de route i.

L'équation 2.10 nous permet donc de calculer l'ensemble des populations exposées au risque lors du transport d'une matière dangereuse. Par exemple, si le rayon du cercle de danger est égale 5 miles et si les chiffres représentant les populations sont de 10.000, 12.000, 13.000 et 14.000 personnes et les distances correspondent à 50, 65, 45 et 55 miles respectivement pour le premier, deuxième, troisième et quatrième ensemble de segments de route, le nombre total de la population exposée au risque durant l'activité de transport sera de:

63.694,268 + 99.363,057 + 74.522,293 + 98.089,172 ≅ 335.669 personnes exposées au risque.

2.2.3 Le modèle de la probabilité d'incident

Si l'on ignore la variation dans la densité de population, ou encore si l'on suppose que les densités de population sont égales à certaines constantes dans le cercle de danger, le modèle du risque traditionnel tend à se simplifier pour devenir alors le modèle de la probabilité d'incident. Ce modèle, développé par Saccomano et Chan (1985), peut être utilisé si la matière dangereuse transportée a un rayon de cercle de danger très petit. Il est déterminé de la façon suivante:

(2.11) $$IP(P) = \sum_{i \in P} p_i$$

où: p_i = la probabilité d'incident sur l'ensemble de segments i.

Littéralement la formule 2.11 veut dire que la probabilité d'incident sur le chemin P emprunté par le transport d'une matière dangereuse est égale à la somme des probabilités d'incident associées aux différents ensembles de segments qui forment ce chemin. Par exemple, si les probabilités d'incident correspondent à 0,00035, 0,00042, 0,00028 et 0,00054 respectivement pour le premier, deuxième, troisième et quatrième ensemble de segments, la probabilité d'incident sur ce chemin sera égale à 0,00159.

2.2.4 Le modèle du risque perçu

En plus de ces trois modèles qui sont fortement reliés, des modèles additionnels sont suggérés dans la littérature afin de représenter adéquatement le risque de transport des matières dangereuses. Selon Abkowitz et al. (1991), la représentation traditionnelle de la conséquence estimée du risque ne peut pas être appropriée à la logistique des matières dangereuses parce qu'une telle représentation ne considère pas le risque de transport perçu par le public. En d'autres termes, il s'agit d'une perception publique neutre à propos du risque. Toutefois, la plupart des gens pourraient juger un événement de faible probabilité et de forte conséquence plus indésirable qu'un événement de forte probabilité et de faible conséquence; ceci même si les conséquences estimées de ces deux événements sont égales. Même si cette attitude abondante est répandue dans les décisions concernant les matières dangereuses, elle n'est pas reflétée par la représentation traditionnelle du risque. Abkowitz et al. (1991) suggèrent de représenter le risque perçu (pour un segment de route) (PR) en utilisant un paramètre préférentiel de risque (q) de la manière suivante:

$$PR = p\,C^{q} \tag{2.12}$$

où: q = le paramètre préférentiel de risque.

L'équation 2.12 nous permet donc de calculer le risque de transport sur un segment de route en se basant non seulement sur la probabilité d'incident multipliée par le nombre de population, mais également sur comment la population perçoit le risque qui lui est imposé par le transport des matières dangereuses. Cette perception quant aux conséquences indésirables des activités potentiellement dangereuses est représentée par

l'utilisation du paramètre préférentiel de risque q. Par exemple, supposons que la population qui réside à proximité du segment de route est égale à 100.000 personnes et la probabilité d'incident sur ce segment correspond à 10^{-4}. Avec un paramètre préférentiel de risque de 1,5, le risque perçu de transport sur ce segment de route sera égale à 3162 personnes affectées.

En utilisant la même approche, le risque perçu associé au transport au long du chemin P, PR(P), peut être exprimé comme suit:

$$PR(P) = \Sigma_{i \in P} p_i (C_i)^q \qquad (2.13)$$

L'équation 2.13 est donc, tout simplement, la somme des valeurs des risques perçus et associés au transport sur les différents segments de route qui composent le chemin P. Par exemple, si les valeurs de probabilité d'incident sont de 0,0005, 0,0004, 0,0007 et 0,0008, les paramètres préférentiels de risque sont de 1,5, 1,6, 1,4 et 1,2 et les populations correspondent à 100.000, 120.000, 135.000 et 140.000 respectivement pour le premier, deuxième, troisième et quatrième ensemble de segments de route, le risque associé au transport sur le chemin P sera de:

$$15.811,388 + 53.548,83 + 10.655,291 + 1197,9636 \cong 81.213 \text{ personnes affectées.}$$

Il faut noter que ce modèle devient similaire au modèle du risque traditionnel quand le paramètre q est égale à 1. Le modèle est connu souvent dans la littérature sous le nom du risque technique.

2.2.5 Le modèle du risque conditionnel

La représentation traditionnelle du risque est également jugée de façon défavorable à l'égard de plusieurs transports de matières dangereuses entre une même origine et une même destination. La définition traditionnelle de la conséquence estimée considère qu'un chemin sélectionné peut être emprunté autant de fois que nécessaire sans tenir compte du nombre d'incidents sur ce chemin. Toutefois, le transport peut être

suspendu afin de réévaluer la politique routière dans le cas de l'arrivée d'un incident catastrophique durant, par exemple, le transport de substances extrêmement dangereuses. Sivakumar et al. (1995) proposent l'utilisation du risque conditionnel, c'est-à-dire la conséquence estimée au moment de l'arrivée du premier incident, afin de traiter ce genre de problèmes.

En utilisant la même notation qu'auparavant, le risque conditionnel pour un chemin P, CR(P), est définit comme suit:

$$CR(P) = \sum_{i \in P} p_i C_i / \sum_{i \in P} p_i \qquad (2.14)$$

Nous remarquons que l'équation 2.14 est constituée de deux attributs où le premier correspond au modèle du risque traditionnel et le second est la probabilité d'incident. Elle nous permet de calculer donc le risque estimé du premier incident, c'est-à-dire le nombre estimé de personnes affectées au cours de ce dernier. Par exemple, si les valeurs de probabilité d'incident sont de 0,0004, 0,0005, 0,0003, 0,0007 et 0,0008 et les populations correspondent à 100.000, 120.000, 135.000, 140.000 et 110.000 personnes respectivement pour le premier, deuxième, troisième, quatrième et cinquième ensemble de segments de route, le risque conditionnel sur ce chemin sera de 120.740 personnes affectées.

Comme nous l'avons annoncé précédemment, même si les chercheurs sont d'accord sur la nécessité d'utilisation du risque dans la sélection des routes accessibles au transport des matières dangereuses, ils ne sont pas tous du même avis à propos de son évaluation. Ils ont donc tenté de modéliser le risque de façons différentes (voir tableau 2.1).

Tableau 2.1
Résumé des cinq modèles de risque suggérés dans la littérature du transport des matières dangereuses

Approche	Modèle
Risque traditionnel	$TR(P) = \sum_{i \in P} p_i C_i$
Population exposée au risque	$PE(P) = \sum_{i \in P} 2C_i d_i / \pi r$
Probabilité d'incident	$IP(P) = \sum_{i \in P} p_i$
Risque perçu	$PR(P) = \sum_{i \in P} p_i (C_i)^q$
Risque conditionnel	$CR(P) = \sum_{i \in P} p_i C_i / \sum_{i \in P} p_i$

À partir du tableau 2.1, nous remarquons qu'il existe une différence fondamentale entre les quatre premiers modèles de risque et le cinquième modèle qui est le risque conditionnel. Ces quatre premiers modèles qui sont le risque traditionnel, la population exposée au risque, le risque perçu et la probabilité d'incident représentent tous une forme fonctionnelle logique, constituée généralement de deux critères majeures représentant la probabilité de l'incident et la population. Cette forme fonctionnelle logique n'est pas apparente dans le modèle du risque conditionnel. La difficulté de ce dernier réside dans le fait que puisque son dénominateur est égal à la probabilité d'incident, les routes qui ont des probabilités d'incident élevées auront de faibles risques conditionnels. Afin d'éclaircir ce point, considérons un cas où toutes les routes entre

une origine et une destination ont la même conséquence estimée (numérateur). Dans ce cas, ce modèle va agir de façon suicidaire en choisissant la route qui possède la probabilité d'incident la plus élevée. Du moment que nous trouvons que le modèle du risque conditionnel se base sur un raisonnement illogique, nous n'allons pas le considérer dans notre étude. De plus, nous mentionnons que le choix des critères d'analyse de risque ne va pas contenir tous les quatre autres modèles restants. Cependant, nous réservons le choix de ces critères dans le chapitre de méthodologie de ce mémoire.

2.3 L'EQUITE

La plupart des travaux portant sur l'équité ont apparu dans la littérature économique, alors qu'en sciences managériales ces travaux semblent être rares. Une exception est celle de la littérature de l'analyse décisionnelle où plusieurs tentatives ont été entreprises afin de fournir des solutions résultant d'une modélisation de l'équité (Erkut et Verter, 1994). Ces études considèrent le décès comme la conséquence indésirable majeure des activités qui imposent un risque au public. Ainsi, comme résultat d'une activité potentiellement dangereuse, chaque individu va subir ou une fatalité (décès) ou non. Une conséquence possible peut donc être représentée par un vecteur N. Par exemple, le vecteur (0,1,...,0) dénotant que l'individu 1 est en vie, l'individu 2 ne l'est pas (meurt), etc. Étant donné qu'il existe un ensemble de conséquences possibles, chaque activité dangereuse peut être considérée comme une loterie pour cet ensemble. Afin d'illustrer ces concepts de base, supposons l'exemple suivant, tiré de Sarin (1993), où l'on considère deux individus 1 et 2 qui sont exposés aux risques dus à une cause spécifique à un moment donné. À la fin de la période du temps spécifié, quatre conséquences de base peuvent être observées: (1,1) = les deux individus meurent; (0,0) = les deux individus restent en vie; (1,0) = 1 meurt et 2 vit; (0,1) = 1 vit et 2 meurt. Au début de la période de temps, nous allons considérer que la distribution de probabilité pour ces quatre conséquences aurait été spécifiée. À partir de cette distribution de probabilité, on peut facilement dériver la probabilité marginale, dénotée IR_i, représentant l'individu i qui correspondra à une fatalité. En d'autres termes, la probabilité marginale du décès.

La figure 2.5 nous donne un aperçu des distributions de probabilité pour les conséquences de base (appelées loteries).

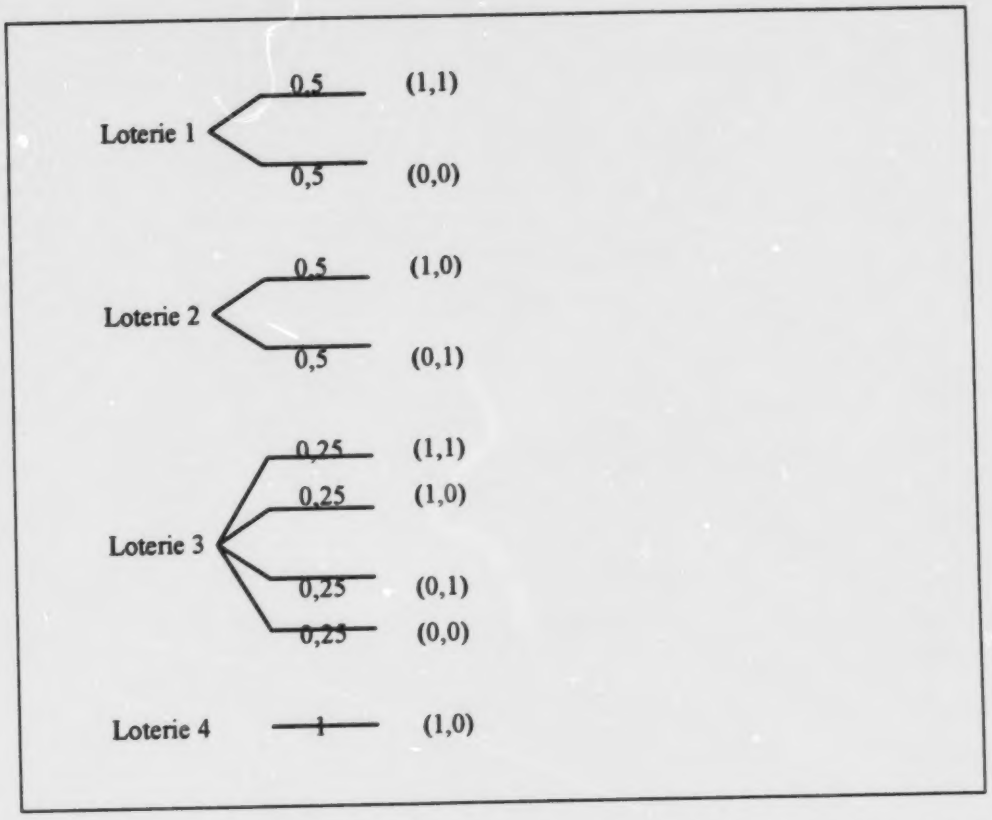


Figure 2.5 Représentation des distributions de probabilité pour les quatre conséquences de base. (Tirée de Sarin, 1993.)

Le nombre estimé de fatalités pour chacune des quatre loteries est égal à 1. Cependant, si nous sommes concernés par l'équité, il y aura peut-être plusieurs évaluations possibles de ces conséquences. À partir de la figure 2.5, nous remarquons que dans les loteries 1, 2 et 3, chaque individu a 50 % de chance de rester en vie. Celles-ci sont donc équitables et chacune d'entre elles est supérieure à la loterie 4. D'où nous dirons que les trois premières loteries ont une équité de risque individuel identique. À la fin de la période de temps, la loterie 1 produit des résultats identiques alors que la loterie 2 produit des résultats non identiques. Ainsi, la loterie 1 sera considérée, par la société, plus équitable que la loterie 2. Dans ce contexte probabiliste, nous remarquons qu'il

existe deux façons d'évaluer l'équité d'une décision: la première (Ex ante) fait référence à la distribution juste (équitable) des probabilités marginales individuelles du décès et qui est une analyse effectuée de façon prévisionnelle, alors que la seconde (Ex post) se réfère aux sorts individuels dans le résultat réel de la décision et qui est une analyse effectuée après la survenance des faits (à la fin de la période du temps spécifié).

L'information nécessaire pour définir l'équité du risque individuel est donc la probabilité marginale du décès ou de mortalité, IR_i, pour chaque individu i. La distribution des probabilités marginales détermine l'équité du risque individuel et est représentée par un vecteur du risque individuel comme suit:

(2.15) $$IR=\{IR_1, IR_2,...IR_N\}$$

où: IR signifie le vecteur du risque individuel,
IR_i représente la probabilité marginale du décès pour chaque individu i, et
N est le nombre de personnes dans la population.

Dans ce cas, une solution équitable est alors définie par une solution où les individus ont la même probabilité marginale du décès.

Selon Sarin (1993), la mesure qui évalue la distribution relative aux résultats à la fin de la période du temps spécifié (le cas d'une équité du risque ex post) est appelée l'équité du résultat social. Celle-ci dépend des fatalités (y) et est exprimée de la façon suivante:

(2.16) $$\sum_{y=0}^{N} \alpha y\,(N-y)\,p(y)$$

où: y signifie le nombre des fatalités,
p(y) est la probabilité de y fatalités dans une loterie p, et
$\alpha > 0$ est une constante scalaire associée au destin commun.

Keeney (1980) montre que l'équité du risque ex post ne peut pas être appropriée à la logistique des matières dangereuses. Ceci peut être illustrée en utilisant une simple comparaison de deux loteries: loterie 3, où chacun des deux individus a 50 % de chance de devenir une fatalité (indépendante de la probabilité du décès de l'autre individu) et loterie 2, où il est déterminé a priori lequel de ces deux individus va décéder. En utilisant l'équité du risque ex post, la loterie 3 est jugée plus équitable que la loterie 2. Cependant, conformément à la loterie 3, il y a 25 % de probabilité pour que les deux individus meurent (c'est-à-dire une catastrophe).

Revenons à l'équité du risque ex ante et considérons le vecteur suivant:

$$IR' = \{IR_1, \ldots, IR_i + \varepsilon, \ldots, IR_j - \varepsilon, \ldots, IR_N\} \tag{2.17}$$

où: IR' signifie le vecteur du risque individuel, et

ε représente la variation dans la probabilité marginale, due à l'analyse prévisionnelle, du décès pour chaque individu lorsqu'il s'agit du risque ex ante.

Selon Erkut et Neuman (1992), un résultat obtenu dans un vecteur IR est plus équitable que celui obtenu dans un vecteur IR' si la différence absolue entre IR_i et IR_j est plus petite que la différence absolue entre $IR_i + \varepsilon$ et $IR_j - \varepsilon$. Ceci est appelé le principe de transfert qui suppose que le cas le plus équitable est celui où la probabilité marginale du décès est la même pour chaque individu. Les deux mesures qui sont généralement utilisées pour une équité ex ante sont les suivantes:

$$\sum_{i=1}^{N} | (IR_i - \underline{IR}) | \tag{2.18}$$

et

$$\sum_{i=1}^{N} (IR_i - \underline{IR})^2 \tag{2.19}$$

$i=1$

Où: $\underline{IR}$ signifie la probabilité moyenne du décès.

Littéralement, les deux formules (2.18 et 2.19) mesurent la dispersion des probabilités marginales du décès, et donc du niveau d'équité, entre les différents individus. Ainsi, plus la probabilité marginale du décès de l'individu i (IR_i) est proche de la probabilité moyenne du décès (IR), plus la solution est équitable. D'une autre manière, avec l'une ou l'autre formule, l'équité du risque individuel est réalisée quant les IR_i sont égaux.

Dans un article apparu en 1993, Erkut se concentre sur les distances séparant un site de service publique et ses utilisateurs afin de quantifier l'inégalité dans les décisions de localisation des sites. Supposons, par exemple, qu'il s'agit de n emplacements d'utilisateurs dans une certaine région et que chaque emplacement d'utilisateur est représenté par un point. Un site de service publique doit être localisé et les utilisateurs doivent se déplacer jusqu'à celui-ci pour obtenir le service fourni. À ce niveau, nous sommes intéressés par l'inégalité parmi les distances entre ces utilisateurs et le site. Pour une localisation de site donnée (x), on représente la distance entre l'utilisateur (i) et le site, égale à $d_i(x)$, par la distribution $\{d_i(x) : i = 1,..., n\}$. Dans ce cas, une solution est équitable si chaque utilisateur se trouve à la même distance du site. C'est-à-dire, si $d_i(x) = d_j(x)$ pour i, j = 1, ..., n.

La localisation d'un site signifie un ensemble de distances exprimé comme suit:

(2.20) $$d = \{d_1, d_2,...,d_N\}$$

où: d représente l'ensemble des distances entre le site et les centres de population, et

d_i signifie la distance entre le centre de population i et le site.

L'utilisation de l'ensemble d nous permet d'avoir une indication sur le degré d'égalité entre les différentes distances. En effet, plus l'ensemble d se rapproche de la solution idéale (où les distances séparant les centres de population du site sont égales) plus la solution est équitable. Ce rapprochement peut être considéré comme une mesure

d'égalité, et donc d'équité. Les deux mesures qui sont relatives à la quantification inégalitaire sont les suivantes:

(2.21) $$(N\underline{d})^{-1} (\Sigma i\, (d_i-\underline{d})^2)^{1/2}$$

(2.22) $$(N^2\underline{d})^{-1} \Sigma_i \Sigma_j | d_i-d_j |$$

Où: $\underline{d}$ est la distance moyenne associée à l'ensemble d.

La mesure $(d_i-\underline{d})$ de la formule 2.21 est représentée géométriquement par la figure 2.6. Dans celle-ci, les emplacements des utilisateurs du site sont représentés par des cercles et la localisation du site est représentée par un carré. Le rayon du cercle en pointillés centré sur le site signifie la moyenne des distances entre les utilisateurs et le site. La longueur des lignes discontinues qui relient les utilisateurs au site est égale à $| d_i-\underline{d} |$. Cette mesure est égale à la somme des longueurs des lignes discontinues et est proportionnelle à une mesure statistique populaire, connue sous le nom de l'écart absolu.

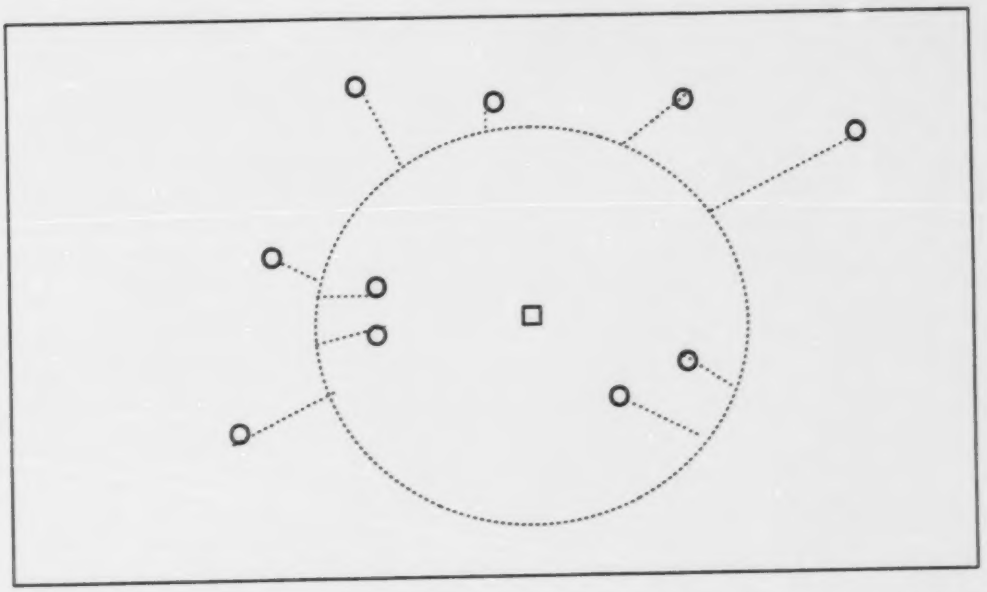


Figure 2.6 Représentation des distances séparant les utilisateurs du site. (Tirée d'Erkut, 1991.)

Le calcul de la distance entre d_i et $\underline{d}$ résulte en une mesure qui est proportionnelle à l'écart type de d_i, c'est-à-dire la différence type entre chaque distance d_i et la distance moyenne $\underline{d}$. À noter que cette mesure est proche de la variance qui est considérée par Morill et Symons (1977) comme une mesure de l'équité. Elle s'exprime comme suit:

(2.23) $$(\Sigma_i (d_i-\underline{d})^2)^{1/2}$$

En divisant la formule 2.23 par $N\underline{d}$ (une norme de la médiane représentée par la somme des distances), on obtient la formule 2.21 qui est considérée comme une mesure populaire d'inégalité, notamment le coefficient de variation (Sen, 1973). Littéralement, cette dernière exprime une mesure du degré de variance entre les différentes distances du site et des centres de population. Ainsi, plus l'écart entre le site et le centre de population i (d_i) et la distance moyenne associée à l'ensemble d ($\underline{d}$) est élevé, plus la valeur de cette équation est élevée, et donc plus la solution est moins équitable.

En mesurant les distances des différents points (emplacements des utilisateurs) idéaux et en faisant leur somme, on obtient la mesure suivante:

(2.24) $$\Sigma_i \Sigma_j | d_i-d_j |$$

Une fois que l'on divise cette mesure par $N^2\underline{d}$, on obtient la formule 2.22. Celle-ci, considérée par Erkut (1993) comme étant la mesure la plus populaire de l'inégalité en économie, veut dire que plus la distance séparant le site du centre de population i et du centre de population j est moindre, plus la solution est équitable. À noter que s'il n'existe aucun écart entre les deux distances, la solution est la plus équitable.

Dans un autre article qui traite de l'égalité dans la localisation des sites, Berman et Kaplan (1990) proposent un plan de transfert de paie afin de réaliser une distribution équitable des bénéfices associés à un site désirable. De cette façon, les receveurs de service payeront des taxes ou recevront des montants d'argent selon la distance qui les sépare du site. Les auteurs montrent que la distance minimisant l'emplacement du site maximise aussi le nombre total des bénéfices de l'utilisateur lorsque l'équité de bénéfice

parfaite est assurée par une contrainte. Ils affirment que dans le cas où le transfert de payements ne peut pas être implanté, l'écart absolu des distances sera une mesure appropriée à l'inégalité. Selon Erkut et Verter (1994), même si cet article traite le cas des sites désirables, il est possible d'étendre ses résultats afin de les appliquer aux sites d'entreposage et de traitement des matières dangereuses.

Même si la stratégie, distribuant des activités potentiellement dangereuses à plusieurs emplacements et routes, peut améliorer l'équité, celle-ci peut également augmenter le risque imposé à la population. De plus, la réduction des coûts de transport qui est due à la distribution spatiale des sites d'entreposage ou de traitement peut être contrebalancée par la perte des économies d'échelle. Celle-ci est due à la construction et aux coûts d'opération des petits sites. Ainsi, l'équité doit être considérée simultanément avec le risque total et le coût du système. De même que les modèles à plusieurs objectifs doivent être utilisés dans les systèmes de gestion des matières dangereuses afin d'analyser les compromis entre le risque, l'équité et le coût total.

2.4 LE COÛT

Nous avons dit dans le premier chapitre de ce mémoire que même si le coût est généralement considéré comme le critère le plus facile à quantifier, il demeure également difficile à évaluer au niveau de la logistique des matières dangereuses. Sa difficulté peut résulter de l'incertitude des impacts sur la société ainsi que sur l'environnement et des conséquences des incidents.

Conformément à la littérature de la logistique des matières dangereuses, l'intérêt majeur du public semble être les conséquences indésirables possibles. Cependant, nous pensons que les conséquences économiques d'une décision logistique sont aussi très importantes pour chaque personne utilisant ces matières. En fait, le risque et l'équité correspondent à des facteurs sociétaux imposés par les règles gouvernementales. À ce sujet, nous partageons le même point de vue d'Erkut et Verter (1994) qui stipule que la raison pour laquelle les décideurs industriels tiennent compte de ces facteurs dans leurs décisions logistiques est le fait qu'ils soient imposés par les politiques gouvernementales,

ou encore qu'ils soient considérés au même titre que des bénéfices tangibles telle qu'une image de marque de la compagnie.

Étant donné l'importance du coût dans ces problèmes, son estimation devient alors aussi cruciale pour l'industrie que pour les gouvernements. Par exemple, la sélection des routes désignées au transport des matières dangereuses et le choix des technologies identifiées pour leur traitement et leur stockage doivent être économiquement réalisables. Autrement, l'application des règles gouvernementales peut être un problème. De même que les pratiques illégales, telle que, par exemple, l'exportation de ces matières vers les pays en voie de développement, peuvent augmenter.

Les compagnies industrielles qui utilisent des matières dangereuses dans leur processus de production ont besoin de construire des sites appropriés pour leur stockage et d'adopter des technologies industrielles sécuritaires. Plusieurs activités industrielles génèrent aussi ces matières tout en produisant des produits dérivés. Cependant, le volume des matières dangereuses générées peut être réduit par l'utilisation d'un processus technologique conforme à la protection de l'environnement. Par conséquent, les décisions logistiques dans ces compagnies industrielles impliquent des compromis entre les coûts et les risques (publique et environnemental) du processus technologique de traitement et d'entreposage (Neuman, 1989). Toutefois, il existe d'autres sites qui traitent, d'une manière considérable, de larges quantités de substances toxiques et qui sont potentiellement plus dangereux que les manufactures industrielles; par exemple, les sites de traitement et d'entreposage des déchets toxiques et les réacteurs nucléaires. Pour ce type de sites, on a besoin d'une approche complète et détaillée qui est capable de fusionner des décisions concernant l'emplacement, la taille, la technologie utilisée ainsi que les routes empruntées d'un site à un autre. Il est clair que l'efficacité des politiques de la logistique des matières dangereuses dépend spécifiquement non seulement du risque, mais aussi de la fiabilité de l'estimation du coût.

L'estimation du coût, dans le contexte de la gestion des matières dangereuses, peut être entièrement complexe. Par exemple, l'établissement des sites de traitement et d'entreposage nécessite l'évaluation de l'acquisition de ces sites et des coûts de

construction par rapport à plusieurs localisations. De plus, il existe plusieurs technologies pour traiter un certain type de matières dangereuses. Par exemple, certaines matières peuvent être incinérées ou traitées par une désintoxication solaire ou encore ensevelies. D'où le besoin d'estimer le coût pour un certain nombre de technologies. Cette estimation demeure également complexe à cause de l'existence des économies d'échelle (par exemple, quadrupler la capacité des incinérateurs nécessite seulement le double de l'investissement) et des économies d'envergure (par exemple, le coût de construction d'un site de traitement de trois types différents de matières dangereuses est faible par rapport à la somme des coûts de construction de trois sites différents). Le processus d'estimation du coût doit donc incorporer toutes les solutions technologiques possibles et toutes les économies pertinentes afin d'atteindre une configuration optimale pour le site.

La complexité de l'estimation du coût réside non seulement dans son incertitude et les compromis qui existent entre les coûts et le risque, mais également entre la minimisation de ces coûts et l'opposition publique. Selon Rahman et Kuby (1995), la fonction de l'opposition publique, dérivant directement d'un sondage d'opinion publique et utilisant des données portant sur les sites, les zones d'emplacement, les tonnages, les coûts et les comportements des habitants résidentiels, est difficile à mesurer puisqu'elle se compose de plusieurs facteurs socio-politiques complexes.

Un autre facteur complexe dans l'estimation du coût est l'incertitude des mesures d'allégement et de compensation qui doivent être négociées avec la communauté où le site sera construit. Erkut et Verter (1994) pensent que même si les décisions les plus favorables proposent que tous les coûts doivent être déterminés avec une certaine certitude à l'étape préliminaire, les coûts d'allégement et de compensation ne sont pas finalisés avant que la décision d'emplacement du site ne soit prise, ceci n'étant pas conforme aux règles de négociation avec la communauté.

D'une manière similaire, l'estimation du coût d'un accident de la route implique une incertitude considérable puisqu'elle peut inclure le coût de nettoyage, le coût des dégâts, les indemnités versées aux familles des victimes et le coût d'opportunité d'encombrement causé par l'accident. Par exemple, en se basant sur 70 accidents causés

au Canada par les matières dangereuses, Wright (1993) démontre que le coût moyen par accident est égal à 600.000 $, alors que le coût estimé est supérieur à 10 million $ dans le cas d'un accident de camion-citerne transportant du propane.

À partir de ces problèmes, nous pensons que les coûts des accidents varient selon les routes empruntées et dépendent également de l'objectif de l'analyse. D'une manière explicite, ces coûts peuvent être considérés comme des coûts sociétaux quand il s'agit de la modélisation d'un système au niveau stratégique, et doivent donc être inclus dans le modèle. Toutefois, du point de vue d'un transporteur, ces coûts peuvent ou ne pas être importants selon, par exemple, le contrat d'assurance.

2.5 CONCLUSION

La logistique des matières dangereuses est concernée par trois critères importants qui sont les risques qui leur sont associés, la distribution spatiale de ces risques et les coûts engendrés par ces dernières. Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthodologie de l'évaluation des risques imposés au public par les activités potentiellement dangereuses, les approches les plus courantes dans la littérature pour modéliser l'équité dans la distribution spatiale du risque et les difficultés associées à l'estimation des coûts engendrés par la gestion des matières dangereuses et la planification de leur transport. Ces trois critères forment l'élément principal dans les décisions de la logistique des matières dangereuses. Cependant, ils existent des compromis entre eux.

La définition de la conséquence estimée du risque peut être critiquée du fait qu'elle ignore les variances. Par exemple, une route qui passe à travers deux petites villes peut être jugée plus risquée qu'une autre route qui traverse une grande ville, si on considère seulement les conséquences estimées. Toutefois, la variance des conséquences peut être plus grande pour la seconde route et peut donc la rendre moins désirable (dangereuse) que la première. Nous pensons, à ce niveau, que des études doivent être réalisées afin de répondre à cette problématique non traitée dans la littérature de la logistique des matières dangereuses.

En plus, il existe plusieurs articles qui présentent des techniques d'évaluation des risques associés aux activités potentiellement dangereuses dont l'intérêt commun n'est concerné que par les fatalités qui sont considérées comme les conséquences majeures des incidents des matières dangereuses. Cependant, il existe quelques auteurs qui ont tenté d'incorporer la possibilité d'évaluation des risques en tenant compte des blessures et dégâts matériel, mais sans aucun succès jusqu'à date. De plus, les risques environnementaux sont toujours ignorés dans les modèles suggérés. À notre avis, ceci nécessite le développement des techniques d'évaluation des risques qui tiennent compte de toutes les conséquences indésirables possibles des activités impliquant des matières dangereuses.

En ce qui concerne l'équité, il n'existe aucune entente parmi ces partisans à propos de la façon dont elle doit être calculée. En fait, à notre connaissance, toutes les mesures utilisées sont simplistes et violent l'axiome principal de la mesure d'équité, notamment le principe de transfert qui suppose que le cas le plus équitable est celui où la probabilité marginale de décès est la même pour chaque individu. À ce niveau, nous suggérons que beaucoup plus d'attention doit être prêtée à l'évaluation de l'équité dans les problèmes de la logistique des matières dangereuses.

Finalement, nous aimerions signaler que le domaine de la logistique des matières dangereuses reste relativement jeune par rapport à plusieurs domaines. En fait, la majorité des articles à partir desquels nous nous sommes inspirés sont publiés après les années 1980 et d'autres après 1990. Si l'on considère ce fait, nous pensons que l'accomplissement est assez substantiel même si nous nous sommes permis de critiquer certains aspects de la littérature.

CHAPITRE III

MODÈLES D'ANALYSE ET SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION

3.1 INTRODUCTION

Dans le domaine de la logistique des matières dangereuses, il existe plusieurs modèles d'analyse et quelques systèmes d'aide à la décision. Nous consacrons ce chapitre à la présentation de quelques-uns, notamment ceux qui ont été développés et appliqués à partir des années 1990.

Les articles qui portent sur la logistique des matières dangereuses examinent une variété de problématiques telles que, par exemple, les sources d'information et de données pour l'analyse des accidents de transport, l'évaluation des risques de transport de différents types de matières dangereuses, les stratégies d'évacuation de la population lors d'une catastrophe causée par ces matières ou encore des approches théoriques de localisation des sites nucléaires. À travers cette revue de littérature, nous avons remarqué que les articles les plus récents mettent l'accent sur les modèles mathématiques à plusieurs objectifs.

3.2 MODÈLES D'ANALYSE

Nous avons recensé une quarantaine d'articles qui traitent de la gestion et de la planification du transport des matières dangereuses dont nous ne voyons pas la nécessité de les présenter tous individuellement dans ce chapitre; ceci parce que certains ne représentent pas des modèles d'analyse, mais contiennent plutôt des critères d'évaluation et de mesure comme ceux présentés dans le deuxième chapitre, ou bien parce qu'ils ne présentent pas des méthodes mathématiques utilisant plusieurs objectifs.

Dans cette partie, nous présentons quelques modèles de la littérature scientifique portant sur l'analyse de la logistique des matières dangereuses et montrons le rôle prépondérant de chacun d'entre deux que nous avons retenus à cette fin.

3.2.1 Modèle de sélection du chemin le plus court

Dans un article paru en 1994, Erkut et Verter présentent un modèle générique de résolution du problème de la sélection individuelle des routes. Dans cet exemple, ils considèrent un réseau de transport G réparti en plusieurs segments de route (i), chacun ayant une probabilité d'incident (p_i) uniforme. À noter que, dans ce cas, un transport entre une origine (O) et une destination (D) sera interrompu si un incident se produit au cours de l'activité de transport. Par conséquent, un incident peut survenir sur le segment de route i seulement dans le cas où il n'y a eu aucun incident sur les segments de route précédents qui sont empruntés par le même transport. La probabilité d'un incident sur le segment de route i est exprimée comme suit:

(3.1) $$p_i^* = (1-p_1)(1-p_2)...(1-p_{i-1})\,p_i$$

où: p_i est la probabilité d'incident sur le segment de route i.

Si par exemple, le véhicule de transport doit traverser une route qui est constituée de quatre segments (1, 2, 3, et 4), la probabilité d'incident sur le quatrième segment de route sera exprimée de la façon suivante:

(3.2) $$p_4^* = (1-p_1)(1-p_2)...(1-p_3)\,p_4$$

Les données historiques qui déterminent la fréquence des incidents sur un segment de route i représentent une estimation de p_i. Étant donné que les probabilités d'incident sont de l'ordre de 10^{-6} par incident par mile, on peut considérer l'égalité suivante:

(3.3) $$p_i^* \equiv p_i$$

L'expression 3.3 implique que l'arrivée des incidents le long d'un chemin choisi correspond à des événements aléatoires indépendants. En fait, le risque associé à chaque segment de route est considéré indépendant des probabilités d'incident des autres segments.

Dans cette étude, l'activité dangereuse (transport) est représentée par deux indices, a et b, qui signifient les noeuds initial et final du segment de route i, respectivement. La formulation du modèle suivant est composée de deux fonctions-objectif, comme suit:

(3.4) $$\text{Min. } \{F_1(x), F_2(x)\}$$

(3.5) $$F_1(x) = \sum_a \sum_b c_{iab}\, x_{ab}$$

(3.6) $$F_2(x) = \sum_a \sum_b R_{iab}\, x_{ab}$$

sujet à

(3.7) $$\sum_a x_{ab} - \sum_b x_{ba} = \begin{cases} 1 \text{ si } a = O \\ -1 \text{ si } a = D, \text{ pour tous a} \\ 0 \text{ dans le cas contraire} \end{cases}$$

(3.8) $$x_{ab} = 0 \text{ ou } 1, \text{ pour tous a, b}$$

où: c_{iab} = le coût de transport d'un voyage le long du segment de route i entre les noeuds a et b,

R_{iab} = le risque de transport au long du même segment,

= $p_i C_i$ (risque traditionnel), où p_i signifie la probabilité d'incident sur le segment de route i et C_i représente la population au long du segment de route i, et

x_{ab} = est une variable de décision,

= 1 si le segment de route i, entre les noeuds a et b, est emprunté par le voyage, 0 dans le cas contraire.

Le modèle ci-dessus constitue la formulation d'un problème de sélection du chemin le plus court où la première fonction-objectif (3.5) représente la minimisation du coût total de transport et la seconde (3.6) représente la minimisation du risque total de transport. La contrainte 3.7 assure que les solutions réalisables correspondent aux chemins de l'origine O à la destination D. Enfin, l'équation 3.8 ne permet la minimisation du risque et du coût de transport que si la matière est transportée au long du segment i entre les noeuds a et b.

Même si le modèle générique présenté ci-dessus est un modèle à objectifs multiples, plusieurs auteurs n'ont traité qu'un seul objectif du problème de sélection individuelle des routes, notamment la minimisation du risque. En fait, plusieurs auteurs suggèrent que la minimisation du risque demeure l'objectif prioritaire dans le domaine du transport des matières dangereuses. Ceci est probablement la raison pour laquelle la majorité des modèles de planification individuelle des routes sont des modèles à objectif unique, se concentrant sur la minimisation du risque.

À ce niveau, nous voulons mentionner que les problèmes de la sélection individuelle des routes a attiré l'attention de plusieurs chercheurs. Cependant, il n'existe, jusqu'à présent, aucun article qui porte sur la sélection globale des routes. Donc la sélection individuelle des routes demeure la seule façon d'optimiser la performance du transport des matières dangereuses.

3.2.2 Modèle de sélection des routes et de localisation des sites

Afin de déterminer les localisations des sites de traitement, les routes de transport reliant ces derniers aux générateurs et les quantités de matières dangereuses transportées sur chaque route, Current et Ratick (1995) utilisent un modèle à objectifs multiples de minimisation du risque et du coût et de maximisation de l'équité du risque imposé à la population. Dans cette étude, ils considèrent un réseau routier G constitué de n noeuds et de m arcs (a, b). La formulation du modèle est la suivante:

(3.9) $\text{Min} \sum_a \sum_b C_{ab} Q_{ab}$

(3.10) $\text{Min} \sum_{b \in F} C_b (\sum_a Q_{ab})$

(3.11) $\text{Min } M$

(3.12) $\text{Min } P$

(3.13) $\text{Min} \sum_a \sum_b c_{ab} + \sum_b (f_b Y_b + h_b \sum_a Q_{ab})$

sujet à

(3.14) $\sum_b Q_{ab} = w_a \qquad \forall\ a \in S$

(3.15) $\sum_a Q_{ab} <= k_b Y_b \qquad \forall\ b \in F$

(3.16) $\sum_a Q_{a1} - \sum_b Q_{1b} = 0 \qquad \forall\ 1 \notin S \text{ ou } F$

(3.17) $\sum_a Q_{ab} <= M \qquad \forall\ b \notin S \text{ ou } F$

(3.18) $\sum_a Q_{ab} <= P \qquad \forall\ b \in F$

(3.19) $Q_{ab} => 0 \qquad \forall\ (a, b) \in A$

(3.20) $Y_b \in (0, 1) \qquad \forall\ b \in F$

où: Q_{ab} = la quantité des matières transportées du noeud a au noeud b,

Y_b = 1 si le site est opérationnel au noeud b, 0 dans le cas contraire,

W_a = la quantité totale des matières dangereuses générées à a ($a \in S$) pendant une période de temps donnée,

C_{ab} = le nombre total de la population qui se trouve à l'intérieur de l'arc (a, b),

C_b = une densité de population par facteur d'unité de taille pour le site ($b \in F$),

c_{ab} = le coût par unité de la traversée de l'arc (a, b),

f_b = le coût opérationnel fixe d'un site à b,

h_b = le coût variable par unité d'opération d'un site à b,

k_b = la capacité maximale d'un site à b,

F = l'ensemble des sites d'entreposage possibles, et

S = l'ensemble des sources des matières dangereuses.

Les deux premiers objectifs de ce modèle sont reliés au risque. L'objectif 1 (formule 3.9) minimise le risque total de transport et l'objectif 2 (formule 3.10) minimise le risque total du site. À noter que les auteurs n'ont pas spécifié le type de risque utilisé dans leur modèle. Par contre, nous remarquons que celui-ci est égal à la somme des matières transportées entre les noeuds a et b multipliée par le nombre total représentant la population qui se trouve à l'intérieur de l'arc (a, b). De cette façon, le risque imposé à la population est considéré proportionnel à la quantité des matières dangereuses transportées. Cependant, s'il ne s'agit pas de la même matière transportée, une petite quantité d'une matière spécifiée et qui est extrêmement dangereuse peut imposer un risque très élevé par rapport à de très grandes quantités d'autres matières. Dans ce cas, nous pensons que cette minimisation du risque par l'objectif 1 ne peut être adéquate au transport des matières dangereuses que dans le cas où il s'agit uniquement d'un seul type de matières. De plus, étant donné que les routes sont différentes les unes des autres, nous trouvons qu'il est nécessaire de tenir compte de la probabilité d'incident sur chaque route. Les objectifs 3 et 4 correspondent à l'équité du risque imposé à la population. L'objectif 3 (équation 3.11) minimise le risque maximum M, correspondant à la quantité maximale qui doit être transportée, qui est imposé à chaque individu par le transport; et l'objectif 4 (équation 3.12) minimise le risque maximum P, reflétant la quantité maximale qui doit être traitée, qui est imposé à chaque individu par un

site de traitement. M et P sont définis par les contraintes 3.17 et 3.18, respectivement. Les risques imposés à chaque individu par le transport des matières et par les sites de traitement doivent être inférieurs ou égaux à M et P, respectivement. Cependant, encore une fois, la distribution spatiale du risque imposé à la population ne peut être représentée par une distribution équitable de la quantité des matières transportées et/ou traitées que lorsqu'il s'agit du même type de matières. L'objectif 5 (équation 3.13) minimise les coûts totaux (fixe et variable) de transport et des sites. De plus, la contrainte 3.14 assure que toutes les matières situées à chaque source sont transportées et l'équation 3.15 ne permet le transport de ces dernières à un site seulement si ce dernier est opérationnel (ouvert). Dans ce cas, la contrainte 3.15 garantie également que la capacité du site n'est pas excédée. Le flux de transport entre les noeuds a et b est maintenu via la contrainte 3.16. C'est-à-dire, toute la quantité des matières déplacées du noeud a est transportée au noeud b. Finalement, la contrainte 3.19 assure des cargaisons non-négatives et la contrainte 3.20 applique les nombres binaires des décisions du modèle.

3.2.3 Modèle de sélection simultanée des routes et des sites

L'entreposage des matières dangereuses dans des sites qui sont situés loin des lieux de leur production nécessite un transport le long d'un réseau routier. S'il existe une seule source de ces matières dangereuses et un seul site désigné, le problème sera concerné par le choix du chemin le plus court dans le réseau. Ce chemin peut être choisit tout en tenant compte du coût de transport ou/et de l'impact du transport sur la population avoisinante. Toutefois, s'il existe plusieurs sources de matières dangereuses et si les destinations auxquelles ces matières seront attribuées ne sont pas désignées, le problème sera de savoir: où placer les sites d'entreposage, quelles sont les sources qui seront attribuées à un site spécifique et quelles seront les routes empruntées par le transport à partir de chaque source jusqu'à sa destination attribuée. S'il s'agit seulement d'une minimisation du coût de transport, le problème sera simple. Par contre, s'il s'agit de plusieurs objectifs, tels que le risque et sa distribution spatiale, le problème sera plus complexe et aucune solution optimale ne peut être recommandée.

Dans une étude dirigée par le département américain de l'énergie, Revelle et al. (1991) développent un modèle qui localise non seulement les sites d'entreposage des matières dangereuses et attribue les sources à ces derniers, mais choisit également les routes pour leur transport. Les objectifs contenus dans ce modèle sont la minimisation du coût de transport et la minimisation du risque perçu. Afin d'atteindre ces deux objectifs, ces auteurs développent leur modèle de la façon suivante:

(3.21) $$\text{Minimiser} \sum_{b=1}^{m} \sum_{a=1}^{n} ((qQ_a d_{ab}) + (1-q)Q_a C_{ab})x_{ab}$$

sujet à

(3.22) $$\sum_{b=1}^{m} x_{ab} = 1 \qquad \forall\, a$$

(3.23) $$y_b => x_{ab} \qquad \forall\, a, b$$

(3.24) $$\sum_{b=1}^{m} y_a = n$$

où: a = indexe des n sources/origines,

b = indexe des m destinations admissibles,

Q_a = quantité du combustible utilisé lors du transport à partir de a,

q = facteur de mesure de la perception du risque,

C_{ab} = le nombre de personnes situées à proximité de d_{ab},

d_{ab} = la distance la plus courte entre a et b,

x_{ab} = 1 si les matières demandées à a sont allouées de b à a, 0 dans le cas contraire,

y_b = 1 si b est établie comme un site, 0 dans le cas contraire, et

n = le nombre de sites devant être établis.

Littéralement, la fonction-objectif de ce modèle (formule 3.21) est composée de deux paramètres, où le premier minimise le coût de transport et le second minimise le risque perçu. À partir du premier paramètre, nous remarquons que pour calculer le coût du

transport, on a besoin de la distance d_{ab}, reliant la source a et l'origine b, et de la quantité Q_a qui correspond au combustible utilisé, lors du transport, le long de cette distance. La multiplication de cette distance par cette quantité sera égale à $Q_a d_{ab}$ et aura une unité de mesure par tonne par mile. Un coût (par tonne par mile) multiplié par $Q_a d_{ab}$ va permettre de convertir cette unité de mesure à un coût de transport. Il y a aussi un second paramètre qui calcule le nombre de personnes qui résident à proximité de la distance reliant les noeuds a et b. Ce sont les personnes qui sont supposées être affectées par un accident lors du transport et supposées également de percevoir les risques associés à celui-ci. Si C_{ab} est le nombre de personnes qui résident à proximité de la distance qui relie les noeuds a et b, alors le résultat englobant les tonnes en transit sur la distance d_{ab} et les personnes situées à proximité de cette dernière sera $Q_a C_{ab}$. Cette mesure est une mesure raisonnable du risque perçu du transport entre a et b, puisqu'elle est directement proportionnelle au nombre de personnes et au tonnage transporté (Revelle et al. ,1991). Le paramètre préférentiel, considéré comme une mesure de la perception du risque, est associé à chacun des deux paramètres contenus dans la fonction-objectif. Il reflète le fardeau du transport relatif à la distance parcourue et il est situé entre 0 et 1.

La contrainte 3.22 assure que le passage des matières dangereuses se fait entre les noeuds a et b et la contrainte 3.23 signifie que si le site est situé à b, les matières dangereuses sont allouées à a à partir du site. Finalement la contrainte 3.24 établit une égalité entre le nombre des sites utilisés et celui des sites qui doivent être établis, c'est-à-dire le nombre de sites est fixé à n.

À partir de ce modèle, nous pouvons remarquer que l'idée d'appliquer le calcul du risque perçu peut être appropriée au transport des matières dangereuses. Cependant, de meilleures mesures de risque doivent être développées. Par exemple, avec un paramètre préférentiel de risque q élevé, le risque perçu est minime. Nous pensons que l'effet de ce paramètre sur le risque perçu doit être proportionnel et non pas le contraire. C'est-à-dire, plus q est élevé plus le risque perçu est élevé. De plus, les perceptions publiques peuvent être trompeuses par rapport aux évaluations des spécialistes.

3.2.4 Modèle générique à plusieurs objectifs

Nous avons déjà mentionné dans la section réservée à l'équité du deuxième chapitre du présent mémoire que même si la stratégie distribuant des activités potentiellement dangereuses à plusieurs emplacements et routes peut améliorer l'équité, celle-ci peut augmenter le risque sociétal total et affecter également les coûts par une perte des économies d'échelle. D'après Erkut et Verter (1995), l'équité doit être considérée simultanément avec le risque total et le coût du système. De plus, les modèles à plusieurs objectifs doivent être utilisés dans les systèmes de gestion des matières dangereuses afin d'analyser les compromis entre le risque, l'équité et le coût total. À ce sujet, nous partageons le même point de vue et tenons à l'appliquer dans le cas de notre étude.

À cette fin, nous avons décidé de présenter un modèle générique à objectifs multiples. Ce dernier, développé par Erkut et Verter (1995), est un modèle de planification des sites potentiellement dangereux. Sa formulation est la suivante:

(3.25) Minimiser $\{G_1(x, y), G_2(y)\}$

(3.26) Maximiser $G_3(y)\}$

(3.27) $G_1(x, y) = \sum_b \sum_k c_{bk}\, y_{bk} + \sum_a \sum_b c_{ab}\, x_{ab}$

(3.28) $G_2(y) = \sum_a \sum_b \sum_k R_{abk}\, y_{bk}$

(3.29) $G_3(y) = F_e\,(\sum_b \sum_k R_{1bk}\, y_{bk}, \ldots, \sum_b \sum_k R_{abk}\, y_{bk})$

sujet à

(3.30) $\sum_b x_{ab} = D_a$, pour tous a

(3.31) $\sum_a x_{ab} <= \sum_k k_k\, y_{bk}$, pour tous b

(3.32) $\sum_k y_{bk} <= 1$, pour tous b

(3.33) $x_{ab} => 0$, $y_{bk} = 0$ ou 1, pour tous a, b, k

où: c_{bk} = coût de construction et d'opération de la configuration k au site b,

c_{ab} = coût de transport par unité entre le centre de population a et le site b,

R_{abk} = risque sociétal (en considérant que chaque individu se trouvant à l'intérieur du centre de population (a) va encourir le même risque),

= (risque individuel au centre de population (a) imposé par la configuration k au site b) multiplié par (la population se trouvant au même centre de population a),

$F_e(.)$ = une mesure de l'équité dans la distribution spatiale du risque,

D_a = demande annuelle du service offert au centre de population a,

k_k = capacité annuelle de la configuration k,

x_{ab} = (variable de décision),

= quantité de service fournie au centre de population (a) par un site localisé à (b), et

y_{bk} = (variable de décision),

= 1 si la configuration k est établie au site b, 0 dans le cas contraire.

Dans ce modèle, l'indexe (a) signifie les centres de population. Les auteurs assument que les sites fournissent un service qui nécessite l'utilisation d'un seul type de matières dangereuses. De plus, l'activité potentiellement dangereuse (traitement des matières) sera présentée par deux indices b et k où b signifie le choix de la localisation des sites et k correspond au choix des configurations de ces derniers, c'est-à-dire la taille du site ainsi que la technologie utilisée.

À noter que les centres de population qui sont exposés au risque des sites dangereux reçoivent également des services de ces derniers. La contrainte 3.30 assure que la demande de service à chaque centre de population soit satisfaite. L'équation 3.31 impose la limite de capacité associée à la technologie choisie pour chaque site et permet également aux centres de population de recevoir seulement des services à partir des sites opérationnels. La contrainte 3.32 assure la sélection d'au moins une configuration pour chaque site. À propos des fonctions-objectif, la première (équation 3.27) correspond à la minimisation du coût total du système qui est calculé à partir de la somme des investissements, des opérations

et du transport. La deuxième (équation 3.28) représente la minimisation du risque de tout le système où il s'agit du risque sociétal, alors que la troisième (3.29) nécessite la maximisation d'une mesure d'équité définie à partir d'un ensemble de risques individuels. Comme nous le remarquons à partir de ce modèle, les auteurs n'ont pas mentionné une mesure d'équité spécifique. Par contre, ils en exigent une. Dans ce cas, on peut choisir, par exemple, une mesure qui exprime le degré de variance entre les différents risques individuels.

Le modèle précédent présume que le risque d'un site est une fonction qui peut être associée aux décisions de configuration et que les décisions opérationnelles n'auront pas une contribution significative au risque. Néanmoins, ce modèle constitue un cadre de représentation des approches à plusieurs objectifs qui apparaissent dans la littérature de la planification des sites des matières dangereuses. De plus, même si ce modèle concerne la planification des sites potentiellement dangereux, nous pensons qu'il peut énormément contribuer au développement d'un modèle de sélection des routes puisque l'objectif principal, dans les deux cas, est de minimiser le coût et le risque et de maximiser également l'équité.

3.3 SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION

Nous savons que les éléments importants d'une décision qui porte sur la logistique des matières dangereuses sont la localisation des sites d'entreposage et de traitement de ces matières, la sélection des routes entre la source des matières dangereuses et leurs sites et également les quantités transportées à travers ces routes sélectionnées. Prendre de telles décisions demeure complexe à cause de plusieurs facteurs. Premièrement, ce sont des décisions de localisation et de sélection qui nécessitent une identification, généralement difficile, de solutions optimales (Laporte, 1988). Deuxièmement, elles comportent des critères multiples. Par exemple, des objectifs reliés au coût, au risque et à l'équité. De plus, la comparaison des alternatives des différents problèmes à critères multiples devient de plus en plus difficile au fur et à mesure que le nombre d'objectifs augmente (Cohon, 1978 et Teghem et Kunsch, 1986). Finalement, le nombre des solutions efficientes (ou non-

dominantes) de ces problèmes peut augmenter exponentiellement avec la taille du problème (Hansen, 1980).

Il est clair que ces décisions sont complexes. Cependant, leurs impacts social, économique, environnemental et politique nécessitent une analyse minutieuse. À partir de ce point de vue, des systèmes d'aide à la décision ont été développés par des chercheurs dans le but de faciliter une telle analyse et afin de traiter plus efficacement les problèmes de la logistique des matières dangereuses.

Dans cette section, nous allons présenter quelques uns, notamment les plus récents qui portent sur la résolution des problèmes à critères multiples.

3.3.1 Système d'aide à la décision interactif et spatial des problèmes à plusieurs objectifs

L'objectif de ce système, développé par Coutinho-Rodriques, Current, Climaco et Ratich (1995), est de réduire le nombre de solutions efficientes qui ont besoin d'être générées, de faciliter la comparaison des solutions alternatives par un système graphique et de faciliter également la révision des données utilisées dans un réseau de transport.

Nous allons décrire ce système interactif et spatial par l'intermédiaire de l'application des cinq objectifs, décrits précédemment, présentés dans Current et Ratick (1995). Comme nous les avons mentionnés dans le modèle de sélection des routes et de localisation des sites, les objectifs sont les suivants:

- minimiser le risque total du transport,
- minimiser le risque total du site,
- minimiser le risque maximal du transport (équité),
- minimiser le risque maximal du site (équité), et
- minimiser le coût total.

Selon ces auteurs, cet exemple démontre le rôle du système tout en mettant l'accent sur une technique d'affichage des solutions, appelée « BAGAL », dans le système.

BAGAL est une technique d'affichage des solutions qui a été développée afin de faciliter la recherche des nouvelles options efficientes et la meilleure option à être implantée. Cette technique est basée sur deux concepts: le premier appelé les solutions idéales (c'est-à-dire les meilleures) et le second appelé les solutions non idéales (c'est-à-dire les plus mauvaises ou les moins bonnes). La technique combine les deux concepts en un et permet de faciliter la recherche de nouvelles solutions ainsi que l'évaluation des solutions existantes.

La solution idéale n'est pas généralement réalisable si les objectifs sont en conflit. C'est une solution hypothétique dont la valeur pour chaque fonction-objectif est la valeur optimale pour l'objectif qui est considéré comme étant le seul objectif du problème. Les valeurs de la fonction-objectif de la solution idéale peuvent être obtenues par une optimisation de chaque fonction-objectif individuellement. Par exemple, si nous avons un problème avec un nombre p de fonctions-objectif devant être minimisées, alors les valeurs des p fonctions-objectif de la solution idéale vont être obtenues par une résolution de p problèmes à un seul objectif, où on minimise dans chacun un objectif différent. Chacun de ces p problèmes rapporte la valeur minimale possible pour un des objectifs. Pour chacune de ces p solutions, il peut être facile de calculer sa performance par rapport aux p-1 objectifs restants.

La solution non idéale peut également ne pas être réalisable. Les valeurs de ces p fonctions-objectif sont les valeurs maximales obtenues pour chaque objectif dans la minimisation des p problèmes résolus afin d'identifier la solution idéale. Par exemple, considérons les cinq objectifs présentés dans la figure 3.1. Les points A, B, C, D et E représentent les valeurs minimales atteintes pour chacun des cinq objectifs (c'est-à-dire la solution idéale) et les points F, G, H, I et J représentent la solution la plus mauvaise.

L'intersection des cinq rayons (c'est-à-dire le centre de BAGAL) représente une valeur de zéro pour chacun des objectifs.

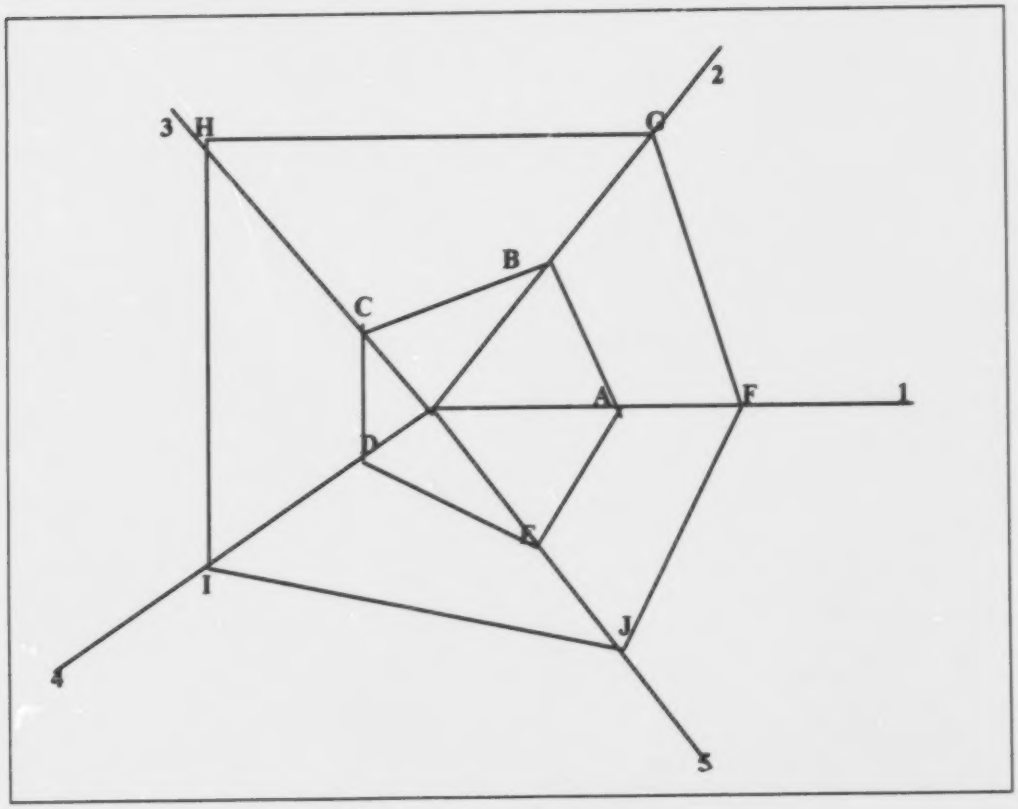


Figure 3.1 BAGAL. (Tirée de Coutinho-Rodriques, Current, Climaco et Ratich, 1995.)

Dans cette figure,, le polygone défini par A, B, C, D et E représente les solutions irréalisables du problème (c'est-à-dire des solutions avec une valeur de fonction-objectif inférieure à celle de la solution idéale). Chaque solution proche du polygone, défini par les points F, G, H, I et J, est dominée par quelques solutions à l'intérieur de BAGAL (c'est-à-dire les solutions qui se trouvent entre les deux polygones).

Dans cet exemple, les points des coins sont définis par des lettres. D'une manière générale, ces points sont représentés par les valeurs des objectifs spécifiques (valeurs actuelles ou pourcentage des valeurs minimales atteintes).

3.3.1.2 Les données du réseau

Dans le cas du problème décrit précédemment, les données nécessaires sont celles qui portent sur les quantités transportées aux sites et traitées à l'intérieur de ces derniers, la capacité de service et la localisation des sites de traitement, les coûts par unité de transport et la population totale située à proximité d'un site de traitement sur une localisation déterminée.

3.3.1.3 Générateur des solutions

Essentiellement, la structure de base du générateur dans la démonstration du problème est le modèle de Current et Ratick (1995), présenté précédemment. Initialement, le générateur génère les solutions efficientes par la résolution d'un problème à un seul objectif qui est en combinaison avec les cinq objectifs originaux.

3.3.1.4 Afficheur des solutions

Les solutions peuvent être affichées graphiquement une fois qu'elles sont générées (voir figure 3.2). Pour une solution donnée, la direction prise par les matières dangereuses qui sont transportées est représentée par des flèches et la quantité relative au flux d'un arc est

représentée par l'épaisseur de celui-ci. Les quantités totales transportées sur un arc, ou traitées dans un site, sont affichées à côté de l'arc.

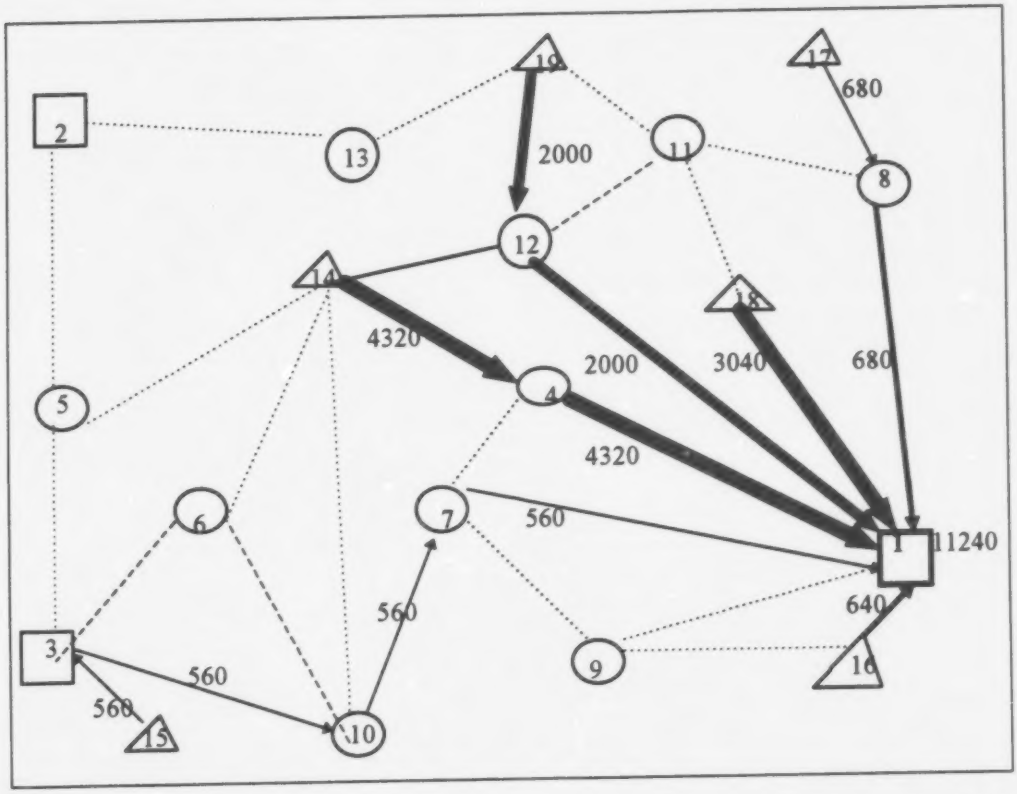


Figure 3.2 Représentation graphique d'une solution dans une distribution spatiale. (Tirée de Coutinho-Rodriques, Current, Climaco et Ratich, 1995.)

3.3.1.5 Fichier de gestion des solutions

Selon les auteurs, le fichier de gestion des solutions est la mémoire de tout le système. Par exemple, considérons les graphes de la figure 3.3 où chacun affiche les valeurs des cinq fonctions-objectif pour chacune des cinq solutions.

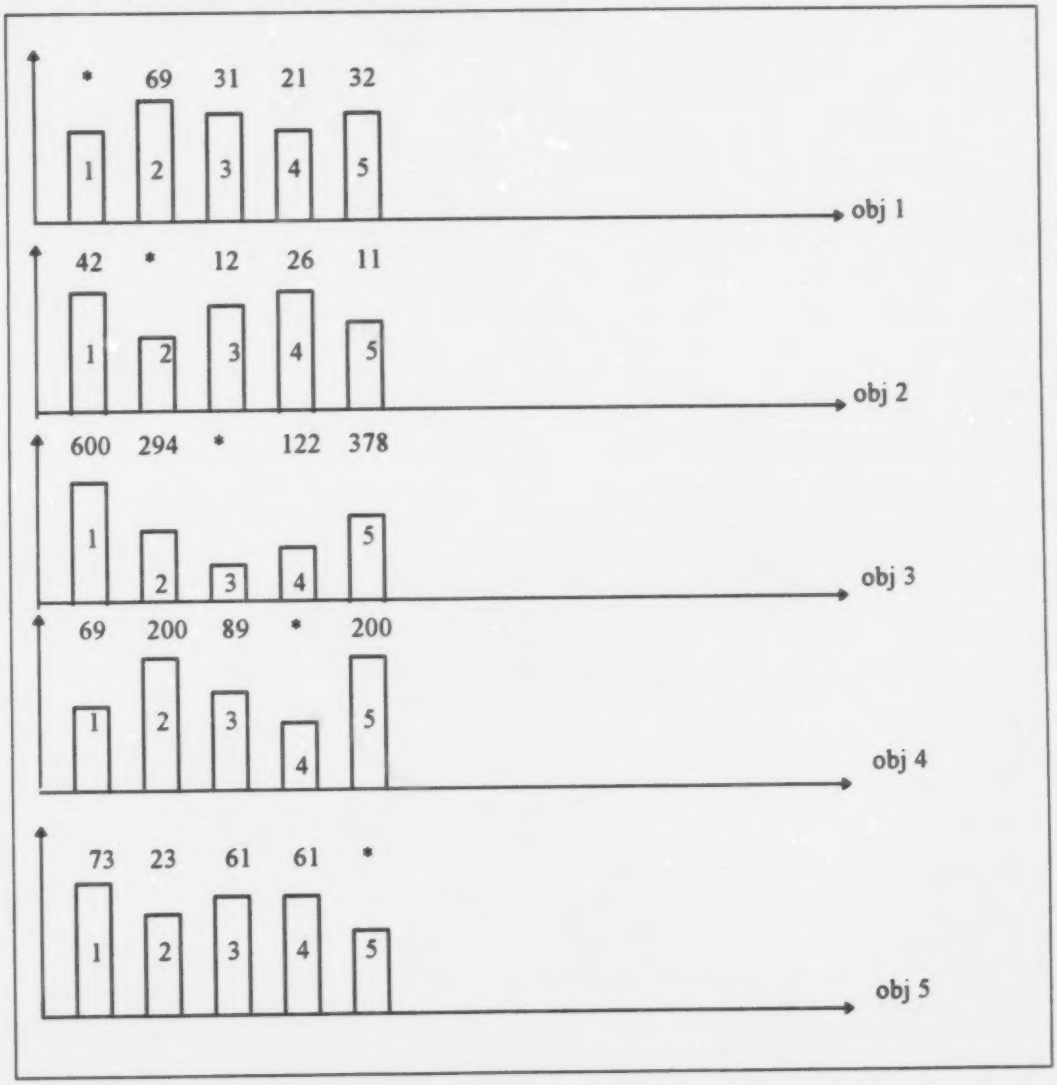


Figure 3.3 Représentation des graphes des cinq fonctions-objectif. (Tirée de Coutinho-Rodriques, Current, Climaco et Ratich, 1995.)

Dans la figure ci-dessus, chaque graphe représente une solution et chaque chiffre qui se trouve au dessus de chaque colonne représente le pourcentage au dessus de la valeur minimale (c'est-à-dire idéale) de chaque objectif d'une solution. Par exemple, la première valeur de l'objectif 5 est égale à 173% de la valeur idéale de cet objectif qui est atteint avec la solution 5.

3.3.1.6 Comparaison des solutions

La difficulté rencontrée dans la sélection des meilleures solutions des problèmes à objectifs multiples est influencée par le nombre d'objectifs et d'alternatives. Dans un problème à deux objectifs, les compromis entre les différentes alternatives peuvent être résolus facilement (Cohon, 1978). Toutefois, dans les problèmes à plusieurs (plus de deux) objectifs, la résolution des compromis devient plus complexe. Cette complexité augmente au fur et à mesure que le nombre d'objectifs et de solutions comparées augmente. Par conséquent, le système d'aide à la décision interactif et spatial a été développé pour cette fin. Comme nous l'avons remarqué avec les figures 3.1, 3.2 et 3.3, le système permet au décideur d'éliminer les solutions non pertinentes et d'identifier celles qui sont efficientes.

3.3.1.7 Révision et correction des données du réseau

Il s'agit de deux fonctions importantes: la première rectifie les données du réseau afin de refléter les changements dans les données sous-jacentes. Par exemple, un nouveau arc est rajouté au réseau ou bien un coût de transport à un arc. La seconde permet de faciliter l'analyse. Par exemple, le décideur voudra analyser les impacts d'un transport restreint d'une ou de plusieurs matières dangereuses sur un ensemble d'arcs spécifiques. Le système permet de réaliser ces fonctions.

Selon ces auteurs, même si ce système a été présenté d'une manière descriptive en fonction des cinq objectifs du modèle de Current et Ratick (1995), il peut être également appliqué dans le cas de n'importe quel problème de sélection et de localisation.

3.3.2 Outil d'analyse de réseau (Haz Trans)

Ce système, développé par Abkowitz, Lepofsky et Cheng (1991), a été développé dans le but d'examiner l'impact de l'utilisation alternative de certains critères de mesure pour la sélection des routes. Le système est développé explicitement pour la gestion de la distribution du risque associé aux matières dangereuses.

3.3.2.1 Description du système

Haz Trans est constitué de deux composants majeurs qui sont complètement intégrés: le premier est un système de représentation graphique et le second correspond à une méthodologie d'analyse. Le système de représentation graphique utilise des informations géographiques tels que le nombre de routes dans le réseau, les noms des villes avoisinantes et le nombre de segments ainsi que leurs longueurs, permettant ainsi à l'utilisateur de faire un choix adéquat. La méthodologie d'analyse est basée sur un ensemble d'éléments comme un système de sélection des critères, une spécification de l'origine et de la destination, une inclusion ou une exclusion des noeuds et des liens du réseau et une identification des routes qui seront empruntées par le transport des matières dangereuses.

Selon les auteurs, le système possède cinq critères et plusieurs variations: le premier minimise la distance de transport, le deuxième minimise la durée de transport, le troisième minimise la probabilité d'accident, le quatrième minimise la population qui est exposée au risque et le dernier minimise le risque.

Dans le cas où le critère de population exposée au risque est sélectionné, l'utilisateur du système doit spécifier l'étendue à partir d'un choix de 0,25, 0,50, 1, 3, 5 et 10 miles. D'après les auteurs, ces distances correspondent aux distances d'évacuation pour différentes matières dangereuses. Si le critère de probabilité d'accident est sélectionné à son tour, les taux d'accidents sont donc basés sur les taux d'accident historiques impliquant des matières dangereuses.

Au delà de la représentation de la définition classique du risque (probabilité d'accident multipliée par la population exposée au risque de transport), l'analyste doit également différencier le risque technique du risque perçu et donc faire une distinction entre la perception publique et le jugement technique. De plus, le choix de l'utilisateur du système n'est pas réduit à un seul critère de sélection pour chaque analyse. Par contre, plusieurs critères peuvent être sélectionnés et l'utilisateur peut ajuster les mesures sur chaque critère afin de refléter l'importance de chacun en définissant une route. La sélection de l'origine et de la destination permet à l'utilisateur de spécifier le mouvement de la matière. De plus, l'inclusion ou l'exclusion des noeuds et des liens sont de bonnes techniques qui déterminent le passage du mouvement durant le processus d'analyse. Ceci facilite l'identification de la meilleure route.

La sélection des routes permet à l'utilisateur de spécifier les conditions reliées aux segments de route. Par exemple, la route qui semble être meilleure pour un voyage en terme de mouvement entier entre une origine et une destination, peut passer à travers des segments individuels du réseau où la probabilité d'accident (ou la population exposée au risque) dépasse un niveau de danger que l'utilisateur considère inacceptable. Celui-ci peut donc déterminer, par la suite, s'il va imposer des conditions spécifiques à ces localisations de haut niveau de danger telle que, par exemple, l'utilisation de cortèges ou bien le retrait du segment à partir du réseau. Une fois que cette information est visualisée, l'utilisateur du système peut opter pour un changement de certaines caractéristiques afin de refléter la situation mise à jour comme, par exemple, des nouveaux taux d'accident.

3.3.2.2 Méthodologie d'analyse

Les cinq critères disponibles dans ce système d'analyse de réseau représentent une grande variété de problématiques associées au transport des matières dangereuses. La minimisation de la distance ou de la durée de transport reflètent la façon dont les matières dangereuses vont être transportées en l'absence de toute contrainte imposée par les régularisations sécuritaires. La plupart des transporteurs ont tendance à opérer sous des

conditions de durée de transport minimale, favorisant donc les grandes routes au lieu de celles qui sont petites et qui peuvent être courtes mais plus longues à traverser.

Une fois que la minimisation de probabilité d'accident et de population exposée au risque sont considérées conjointement, elles représentent la définition traditionnelle du risque comme suit:

(3.34) $$\text{Risque} = \sum_{i=1}^{n} (\text{taux}_i)(\text{POP}_i)$$

où: n = le nombre total de segments qui constituent la route,

taux_i = taux d'accident sur le segment i, et

POP_i = population exposée au risque à l'intérieur d'une certaine zone sur le segment i.

Afin de structurer la méthodologie d'analyse, la durée de transport ainsi que le risque peuvent être choisis comme des critères de grande importance. L'exposition de la population, intégrée dans la mesure de risque, est définie par le nombre de personnes qui résident à une distance de 5 miles du segment de transport. Ceci correspond à la distance d'évacuation pour des matières dangereuses comme le chlore. Le réseau de transport qui est choisi afin de réaliser cette analyse est celui des autoroutes en Californie.

3.3.2.3 Résultats d'analyse

La présente section décrit les résultats d'un certain nombre d'analyses effectuées au réseau en question et qui sont basées sur la méthodologie recommandée. Plusieurs cas sont présentés, chacun illustrant des résultats importants à partir de cet exercice.

i) Cas 1: I-10 de la frontière d'Arizona jusqu'à Vandenberg, CA

Un nombre d'analyses a été effectué à ce voyage en utilisant des critères alternés ainsi que des critères de mesure basés sur la minimisation de la durée du transport et la minimisation du risque. De plus, plusieurs applications additionnelles ont été également effectuées où tous les critères ont été considérées simultanément en mettant en pratique des mesures correspondantes à chacun d'entre eux, reflétant différents niveaux d'importance relative. Par exemple, 75% de minimisation de la durée de traversée, 25% de minimisation du risque; 50% de minimisation de la durée de traversée, 50% de minimisation du risque; etc. De cette façon, tout l'ensemble des compromis économiques et sécuritaires peut être examiné.

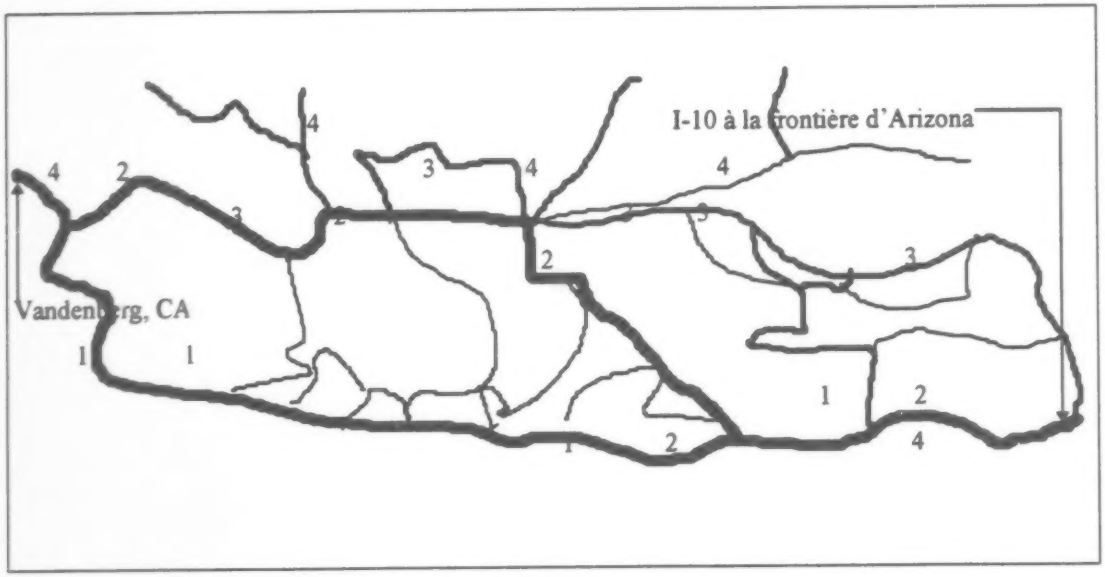


Figure 3.4 I-10 de la frontière d'Arizona jusqu'à Vandenberg, CA. (Tirée d'Abkowitz, Lepfsky et Cheng, 1991.)

La figure 3.4 correspond à une représentation de quatre routes différentes. La première représente la route qui minimise la durée du transport et la deuxième a été sélectionnée en se basant sur une application des critères de mesure avec 75% de minimisation de la durée du transport et 25% de minimisation du risque. D'une façon similaire, la troisième route représente une application des critères avec 25% de minimisation de la durée de traversée et 75% de minimisation du risque, alors que la quatrième route est basée exclusivement sur la minimisation du risque.

Plusieurs observations sont donc évidentes une fois qu'on examine ces résultats. Premièrement, l'application des différents critères de mesure a comme résultat la sélection de différentes routes. Même si ce résultat peut être intuitif, sa justification confirme que lorsque des critères de risque sont appliqués, les routes alternées seraient sélectionnées. À partir du résultat, on peut également suggérer que ceci peut devenir une problématique contentieuse puisque les transporteurs seraient obligés d'emprunter une route plus détournée si la minimisation du risque est mandatée ou recommandée comme une directive de désignation de route.

Un autre résultat important nous montre que si les routes désignées sont uniquement basées sur la minimisation du risque, elles résultent dans une sélection de routes qui sont aussi détournées qu'elles sembleraient plus économiquement inapplicables. Comme indiqué dans le tableau 3.1, la route 4 réalise plus du double de la durée du transport une fois qu'elle est comparée à la durée minimale du transport (route 1). De plus, même si cette route minimise le risque grâce à la faible population exposée au risque, la probabilité d'un accident augmente à cause de la longue durée d'exposition au risque et de l'utilisation de faible qualité des routes. Ceci suggère que chaque système raisonnable de désignation des routes doit trouver une solution qui introduit une sécurité améliorée sans rendre le voyage extrêmement encombrant. L'implication importante de ce résultat est que la régularisation de la sélection des routes ne doit pas être exclusivement basée sur la recherche de la route la moins risquée. D'où les régulateurs doivent insister sur les améliorations sécuritaires plutôt que de considérer la minimisation du risque comme un objectif unique.

Heureusement, ce cas illustre également que ce problème peut être conciliable en trouvant des compromis avantageux entre la durée du transport et le risque réalisés par l'ajustement des critères de mesure. Comme on peut le remarquer à partir du tableau 1, la route 2 (75% de minimisation de la durée de traversée et 25% de minimisation du risque) identifie une route qui, une fois comparée à la route 1, introduit seulement une augmentation de 3% de la durée du transport, mais une réduction de 70% du risque. Ce compromis améliorerait considérablement la sécurité publique avec un effet négligeable sur l'efficience du transporteur. D'une manière similaire, la route 3 introduit une augmentation de 8% dans la durée du transport et une réduction de 82% du risque.

Route	Distance	Durée de la traversée	Population	Probabilité d'accident	Risque
1	388,88	7 h 55 mn	3.059.409	0,000306	17,84
2	435,29 +12%	8 h 11 mn + 3%	819.688 -73%	0,000376 +23%	5,44 -70%
3	493,14 +27%	8 h 32 mn +8%	214.961 -93%	0,000433 +42%	3,17 -82%
4	973,83 +150%	19 h 27 mn +146%	311.859 -89%	0,000613 +100%	0,92 -95%

Tableau 3.1 Cas 1: impacts de l'analyse de route. (Tirée d'Abkowitz, Lepfsky et Cheng, 1991.)

ii) Cas 2: I-40 de la frontière de l'Arizona jusqu'à Vandenberg, CA

Le seul ajustement appliqué à ce cas est le mouvement du point d'origine du voyage vers le nord de l'entrée de la frontière I-40, de l'Arizona à la Californie. Telles qu'elles apparaissent dans le premier cas, les routes alternées sont sélectionnées selon si le critère est exclusivement la durée du transport ou la minimisation du risque. Toutefois, dans ce cas, la route 1 règne sur toute une gamme à partir, exclusivement, de la minimisation de la durée du transport à travers des applications avec un critère de mesure de 25% de minimisation de la durée de traversée et 75% de minimisation du risque. La route 2 apparaît seulement lorsque la minimisation du risque est le seul critère. Le compromis, à ce niveau, est le doublement de la durée du transport pour un léger pourcentage de réduction du risque (voir tableau 3.2).

Le deuxième cas illustre trois résultats additionnels. Premièrement, le point d'inflexion, où différents compromis émergent une fois que l'on considère des critères multiples, apparaît au niveau de différents critères de mesure que dans le premier cas (voir figure 3.5 et figure 3.6). Ceci suggère que la politique routière qui fixe des critères de mesure spécifiques, dans le but d'être utilisés pour la désignation routière, n'est pas recommandée. Deuxièmement, quand ce cas est combiné avec le premier, il nous démontre que même des changements mineurs reliés à la localisation des points de transport, modifient le réseau ainsi que les alternatives routières. Si on considère ce résultat dans un contexte d'une centaine de transports de matières dangereuses avec plusieurs origines et destinations, il peut être suggéré qu'un outil sophistiqué d'analyse de réseau sera probablement nécessaire afin de traiter ces considérations. Finalement, ce cas montre que certains voyages présenteront des solutions politiques plus raisonnables que d'autres; ceci en terme de compromis entre l'efficience du transporteur et la sécurité publique (Abkowitz, Lepfsky et Cheng, 1991).

Route	Distance	Durée de la traversée	Population	Probabilité d'accident	Risque
1	409,99	7 h 5 mn	195.473	0,000350	2,37
2	864,65 +111%	17 h 9 mn +142%	284.919 -46%	0,000540 +54%	0,76 -68%

Tableau 3.2 Cas 2: impacts de l'analyse de route. (Tirée d'Abkowitz, Lepfsky et Cheng, 1991.)

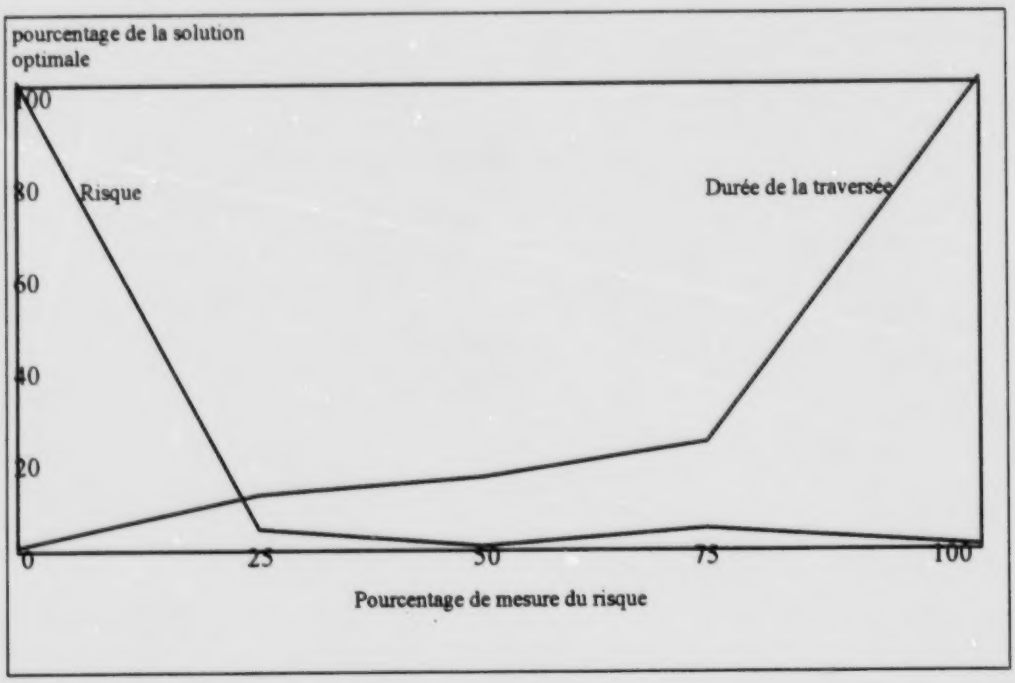


Figure 3.5 CAS 1. Analyse comparative des fonctions de compromis. (Tirée d'Abkowitz, Lepfsky et Cheng, 1991.)

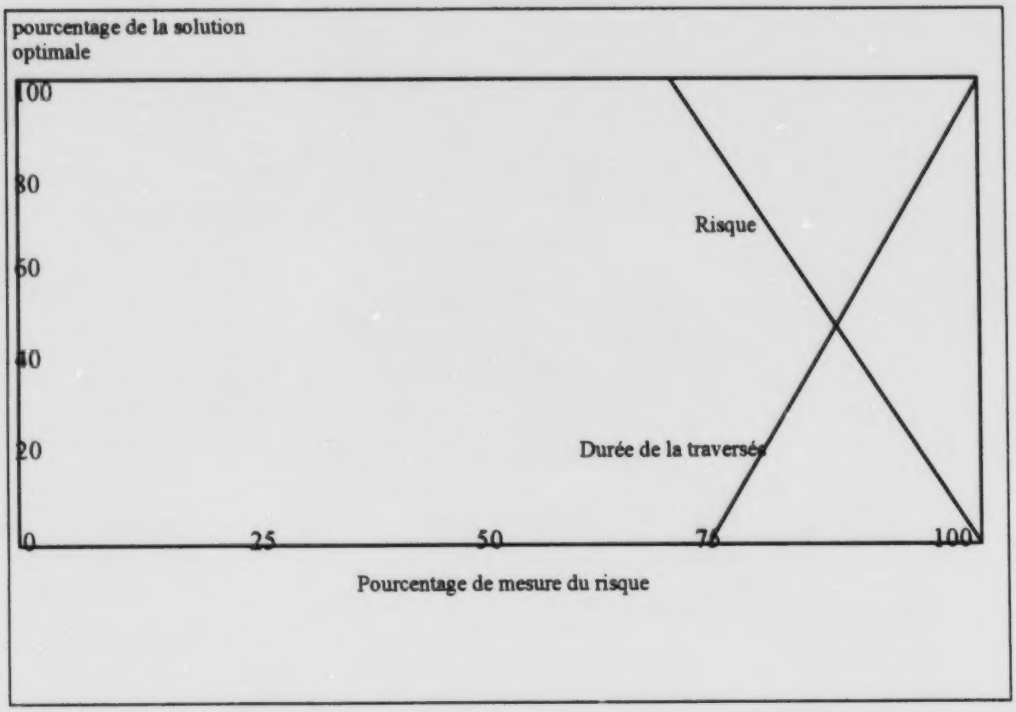


Figure 3.6 CAS 2. Analyse comparative des fonctions de compromis. (Tirée d'Abkowitz, Lepfsky et Cheng, 1991.)

iii) Cas 3: de Capistrano, CA à Thousand Oasks, CA

Pour le troisième cas, une nouvelle paire origine-destination a été sélectionnée, représentant ainsi un transport à travers la métropolitaine Los Angeles. Deux analyses ont été effectuées où chacune se concentre sur l'identification de la route préférée qui est basée sur des critères de mesure de 25% de minimisation de la durée du transport et 75% de minimisation du risque. La différence entre les deux analyses est que dans la première un risque préférentiel neutre est considérée alors que dans la deuxième il s'agit d'un risque « averse ».

La neutralité du risque (ou risque technique) considère qu'un accident qui cause 100 fatalités est équivalent à 100 accidents causant une fatalité chacun; ceci puisqu'on estime dans les deux cas une conséquence de 100 fatalités. Toutefois, l'aversion du risque associe beaucoup plus de risque à un seul accident causant 100 fatalités qu'à 100 accidents causant une seule fatalité chacun. Selon les auteurs, ce risque est plus représentatif de la perception publique.

Mathématiquement, le risque préférentiel est représenté dans la définition du risque comme suit:

$$\text{Risque} = \sum_{i=1}^{n} (\text{taux}_i)\,(\text{POP}_i)^q \tag{3.35}$$

où: n = le nombre total de segments qui constituent la route,

taux_i = taux d'accident sur le segment i,

POP_i = population exposée au risque à l'intérieur d'une certaine zone sur le segment i, et

q = risque préférentiel.

Dans cette formulation, une valeur de $q = 1$ représente le cas d'un risque neutre, alors qu'une valeur de $q > 1$ équivaut à un risque averse.

Comme on peut le remarquer à partir du tableau 3.3, même si la route 2 apparaît moins désirable avec un taux de probabilité d'accident plus élevé comparativement à la route 1, elle demeure la meilleure puisqu'elle réalise une réduction de la population exposée au risque. De plus, même si la différence statistique entre ces deux routes peut ne pas apparaître intéressante, il est important de reconnaître que le public aimerait, dans ce cas, percevoir une route désirable différente de celle identifiée par l'utilisation unique de la mesure du risque technique. Selon les auteurs, ceci amène souvent à une question extrêmement perplexe où l'on se demande quelle mesure de risque est la plus appropriée, puisque la planification routière est par nature une préoccupation politique publique.

Route	Risque préférentiel	Distance	Durée de la traversée	Population	Probabilité d'accident
1	Neutre	101,48	2 h 47 mn	3,363,710	0,000064
2	Averse	101,33 -0,1%	2 h 48 mn +0,6%	2,906,111 -14%	0,000090 +41%

Tableau 3.3 Cas 3: impacts de l'analyse de route. (Tirée d'Abkowitz, Lepfsky et Cheng, 1991.)

Les routes désirables qui sont perçus par le public sont différentes de celles qui sont identifiées et basées sur le risque technique. Selon ces mêmes auteurs, la réconciliation de ces différences doit être traitée par une intégration de la perception du risque dans la méthodologie d'évaluation de celui-ci ou par un processus de communication du risque.

Pour conclure, ces résultats nous permettent d'identifier les types de problèmes que l'on peut rencontrer au cours de l'implantation des procédures de sélection des routes qui peuvent être empruntées par les matières dangereuses et également dans les problématiques qui leur sont associées.

3.3.3 Système d'analyse de transport routier et d'information géographique

Dans cette étude, Johnson, Liu et Harrison (1994) considèrent que les routes, formées par des noeuds, des liens ainsi que des régions, qui sont empruntées par le transport des matières dangereuses sont calculées par une minimisation de l'impédance totale entre une origine et une destination. D'après ces auteurs, l'impédance est définie par une fonction qui est composée de variables spécifiques telles que la durée et la distance.

Le système développé « TRAGIS » est constitué d'un nombre d'options qui permettent à son utilisateur de bloquer certains noeuds, liens ou régions. Le blocage peut

être affecté par l'utilisation du système d'information géographique disponible dans TRAGIS. Par exemple, s'il existe une région spécifique qui est sous certaines conditions, elle peut ne pas être considérée par le système d'analyse. De plus, ce système possède une option de sélection des routes qui est très utilisée à cause du nombre d'alternatives des routes qui peuvent être exigées par les régulateurs et les décideurs. Les routes qui diffèrent seulement par quelques miles ou minutes, peuvent contenir un ensemble de juridictions politiques différentes (voir tableau 3.4). Par exemple, la route 1 (route préférée) fournit le voyage le plus court en terme de distance et de durée. Cependant, il est possible que la route 2 offre l'avantage du moindre risque du transport. Dans ce cas, les régularisations routières des routes préférées n'aboutissent pas à la sélection d'une seule route puisqu'elles nécessitent seulement une route qui minimise la durée. Par conséquent, cette option est utile afin d'évaluer les différentes routes qui risquent de connaître ces spécifications.

Route	Durée	Distance	Distance Densité Population	Rural	Suburbain	Urbain	Total
1	49h 43	2750	distance	84,1%	14,3%	1,6%	
			densité/mile^2	17,7	926,2	5.583,4	
			population	40,9	364,3	243,4	648,6
2	51h 16	2840	distance	85,1	14,0	0,9%	
			densité/mile^2	19,0	812,2	5.546,8	
			population	45,9	322,9	134,8	503,6
3	53h 25	2963	distance	80,8	17,7%	1,5%	
			densité/mile^2	21,6	823,3	5.555,9	
			population	51,7	431,8	242,8	726,4

Tableau 3.4 Statistiques des routes choisies. (Tirée de Johnson, Liu et Harrison, 1994.)

Afin de développer les routes alternatives, TRAGIS trouve d'abord la route optimale en utilisant les critères spécifiés par l'utilisateur. L'impédance de chaque lien dans la première route est donc augmentée de 10% afin de trouver une route alternative entre une origine et une destination. À cause de l'augmentation des impédances sur les liens contenus dans la première route, la deuxième route aura tendance à utiliser un ensemble différent de liens. Pour générer une troisième route, les impédances des liens utilisés dans la deuxième route sont également augmentées; et la procédure est répétée. Les liens qui apparaissent dans toutes les routes, verront leurs impédances augmenter deux fois.

À propos de la population, elle est déterminée par la multiplication de la densité de population et de la région située à l'intérieur d'une distance de 0,5 mile de la route sélectionnée. Dans ce cas, les auteurs ont choisi de diviser la population en trois zones différentes (rurale, suburbaine et urbaine). L'information sur la population peut être utilisée comme une donnée d'un modèle de risque qui est utilisé afin de calculer le risque total imposé à la santé de la population. Étant donné que l'information sur la population est une caractéristique du lien de la route, elle peut être facilement incorporée comme une variable de décision dans la fonction-objectif du modèle cité ci-dessous (Johnson, Liu et Harrison, 1994).

TRAGIS utilise un modèle qui fournit un outil flexible de détermination des routes pour le transport des substances radioactives et d'autres matières dangereuses aux États-Unis. La base de données associée au modèle correspond essentiellement à plus de 240.000 miles d'autoroutes. Les attributs des liens incluent la distance, la vitesse, le type d'autoroute et les restrictions spécifiques. Ces dernières permettent au modèle d'éviter certains segments de route, même ceux qui offrent la route la plus courte.

Tel que mentionné précédemment dans cette section, les routes sont calculées par une minimisation de l'impédance totale entre l'origine et la destination. La fonction-objectif du modèle calcule l'impédance minimale et donc le chemin le plus court. La formulation du modèle est la suivante:

(3.36) $$\text{Min.} \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

sujet à

(3.37) $$\sum_j c_{ij} - \sum_k x_{ki} = \begin{cases} 1 \text{ si } i = s \\ -1 \text{ si } i = t \\ 0 \text{ dans le cas contraire} \end{cases}$$

(3.38) $$x_{ij} \Rightarrow 0 \text{ pour tous ij dans le réseau, où}$$

(3.39) $$c_{ij} = \alpha d_{ij} + \beta t_{ij}$$

où: α = biais de distance,

d_{ij} = distance du lien x_{ij},

β = biais de durée, et

t_{ij} = temps nécessaire pour traverser x_{ij}.

La fonction-objectif (équation 3.36) calcule l'impédance minimale et trouve donc le chemin le plus court par la minimisation d'une fonction de mesure du temps et de la distance. La contrainte 3.37 conserve le flux de transport afin de s'assurer qu'il n'existe pas d'afflux au niveau d'aucun noeud intermédiaire.

En plus des noeuds et des liens, l'utilisateur de ce système peut également sélectionner une option pour les autoroutes afin d'éviter les zones urbaines. Tous les segments d'autoroutes localisés à l'intérieur de ces zones urbaines et qui contiennent plus de 100.000 personnes sont identifiés dans la base de données. De plus, les routes générées et qui utilisent cette information ne vont correspondre à aucune route dans ces zones urbaines seulement dans le cas où aucune autre route n'est disponible.

La durée du transport pour un voyage est une fonction du nombre de conducteurs utilisés. Si, par exemple, un groupe composé de deux conducteurs fait le voyage, ces derniers peuvent conduire en se relayant et faire donc le voyage plus rapidement qu'un seul conducteur. Le modèle, en calculant la durée du transport, tient compte de ces scénarios.

D'après les auteurs, le résultat généré par le modèle de TRAGIS inclue la route, les temps d'arrivée et de départ, la distance totale et également la population située au long de la route. Ce résultat peut être utilisé comme une donnée d'un modèle de risque afin d'estimer le risque imposé à la santé humaine par le transport des substances radioactives.

3.3.4 Modèle décisionnel et analyse de covariance

Après avoir présenté une description de la littérature scientifique, nous remarquons que les analyses utilisées dans le domaine de la logistique des matières dangereuses sont importantes pour la gestion des risques qui y sont associés. Burns et Clemen (1993) suggèrent que la connaissance des décideurs à propos de l'environnement complexe, dans lequel des matières dangereuses sont transportées ou traitées, doit être intégrée dans une analyse de décision d'une manière à ce que le processus décisionnel devienne plus facile. Toutefois, la prise d'une décision demeure toujours un processus difficile puisqu'il existe des facteurs externes qui sont mal compris et/ou mal définis. Par conséquent, un décideur doit non seulement prêter attention aux facteurs environnementaux, mais aussi comprendre comment ces facteurs peuvent interagir entre eux.

Supposons, par exemple, qu'un groupe d'hommes d'affaires et de responsables d'une communauté est intéressé par la gestion des risques associés aux accidents causés par le transport des matières dangereuses. Ces personnes craignent qu'un accident de ce genre pourrait provoquer de fortes réactions du public et des médias qui, à leur tour, pourraient avoir un effet négatif sur les relations entre ces hommes d'affaires et la communauté. Leur inquiétude réside dans le fait que ces hommes d'affaires dépendent énormément du transport de ces matières (par exemple, le gasoil, le chlore et plusieurs d'autres matières corrosives). En se basant sur ces considérations, le groupe désire de réduire la vulnérabilité de la communauté.

À partir de ces idées, Burns et Clemen (1993) décidèrent de faire une analyse de covariance des facteurs impliqués dans le transport des matières dangereuses dans le but de réduire le risque total imposé à la communauté. Ils préconisent que l'une des meilleures

façons d'atteindre cet objectif est de s'intéresser à la réduction des conséquences d'un accident. Selon ces auteurs, les facteurs décisionnels les plus significatifs sont les blessures et dégâts matériels, la perception du public ainsi que sa réaction envers l'accident et également la réaction des médias. Ils rajoutent que la modélisation convenable de la contribution de chacun de ces facteurs nécessite la définition de leurs mesures significatives. De plus, il est également nécessaire de déterminer comment ces facteurs interagissent pour produire des niveaux d'impact social.

Kasperson et al. (1988) développent une théorie générale de l'explication sociale du risque. Ils suggèrent que l'impact de chaque événement dangereux, dû au transport des matières dangereuses, est modéré par des facteurs tels que la couverture médiatique et la réaction publique. Burns (1991) rend cette théorie générale plus précise en utilisant des données afin d'estimer un modèle général de causalité de l'impact des événements dangereux. Comme il est indiqué dans la figure 3.7, Burns utilisa une variété de différents dangers provenant du transport des matières dangereuses.

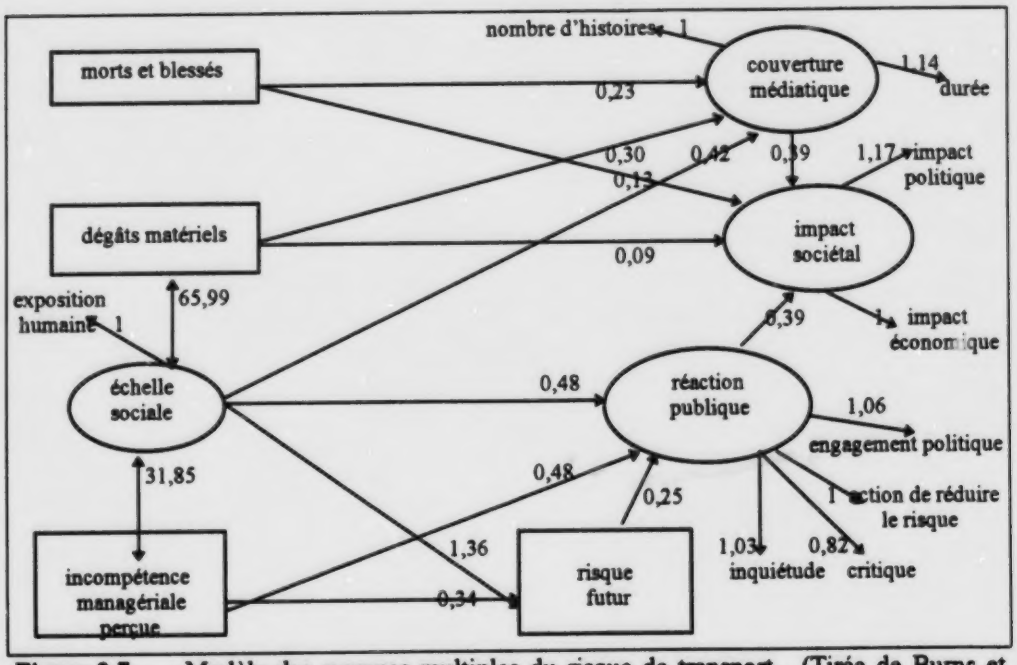


Figure 3.7 Modèle des mesures multiples du risque de transport. (Tirée de Burns et Clemen, 1993.)

La théorie de l'amplification sociale du risque suppose qu'en plus des conséquences physiques d'un accident de transport, des facteurs comme la couverture médiatique, la perception du public ainsi que sa réaction contribuent à l'impact social d'un accident. À titre d'exemple, la couverture médiatique, la réaction publique, les victimes (morts et/ou blessés) et les dégâts matériels aboutissent tous à l'impact social et affectent donc directement les implications politiques et économiques d'un accident. Les signes des coefficients, utilisés dans la figure 3.7, montrent que cet effet est positif. De même que l'ampleur relative à chaque coefficient indique que la couverture médiatique et la réaction publique exercent les plus importants effets directs. Par exemple, un changement du coefficient de variation dans la couverture médiatique produit une variation de 0,39 du coefficient de variation de l'impact social. Par contraste, l'échelle sociale, l'incompétence managériale perçue et le risque futur sont supposés avoir seulement un effet indirect sur l'impact d'un accident à travers les effets sur la couverture médiatique ou la réaction publique.

Tel qu'il est indiqué dans la figure 3.7, quatre facteurs ont été mesurés par des indicateurs multiples: l'échelle sociale, la couverture médiatique, la réaction publique et l'impact social. Par exemple, l'impact est mesuré par les conséquences économiques et politiques. De plus, une grande variété d'indicateurs, allant de l'inquiétude jusqu'à l'engagement politique, mesure la réaction publique envers un accident de transport. Chacun de ces coefficients de mesure représente la corrélation des variables reliées. À titre d'exemple, les valeurs 1 et 1,14 pour le nombre d'histoires et la durée correspondent aux corrélations de 0,89 et 0,97 avec la couverture médiatique, respectivement. De telles corrélations indiquent une correspondance raisonnable entre le facteur de la couverture médiatique et ses indicateurs. Tous les autres indicateurs ont une corrélation supérieure ou égale à 0,87, à l'exception de l'exposition humaine qui a une corrélation avec l'échelle sociale égale à 0,65. À noter que la matrice de ce modèle est estimée en utilisant des probabilités.

En se basant sur les idées tirées à partir de cette analyse, il est possible de représenter le modèle du risque de transport sous la forme d'un diagramme d'influence. Celui-ci est un modèle de représentation des situations de décision où les événements et les variables de

probabilité sont représentés par des cercles, les variables qui sont sous le contrôle du décideur sont représentées par des carrés et la fonction-objectif ou l'objectif du processus décisionnel sont représentés par des rectangles.

Il existe donc toute une possibilité d'options selon le traitement désiré des facteurs. Dans leur cas, Burns et Clemen (1993) présentent une analyse basée sur un modèle utilisant un seul indicateur et par la suite une analyse dans laquelle des indices composés sont créés afin de représenter les facteurs. La figure 3.8 nous montre un modèle dans lequel une seule mesure à été choisie afin de représenter chaque facteur. À titre d'exemple, l'impact économique et le nombre d'histoires ont été choisis comme des indicateurs de l'impact social et de la couverture des médias, respectivement. La structure de base de ce modèle est similaire à celle de la figure 3.7. Cependant, les coefficients sont différents parce qu'ils ne sont pas basés sur des informations identiques.

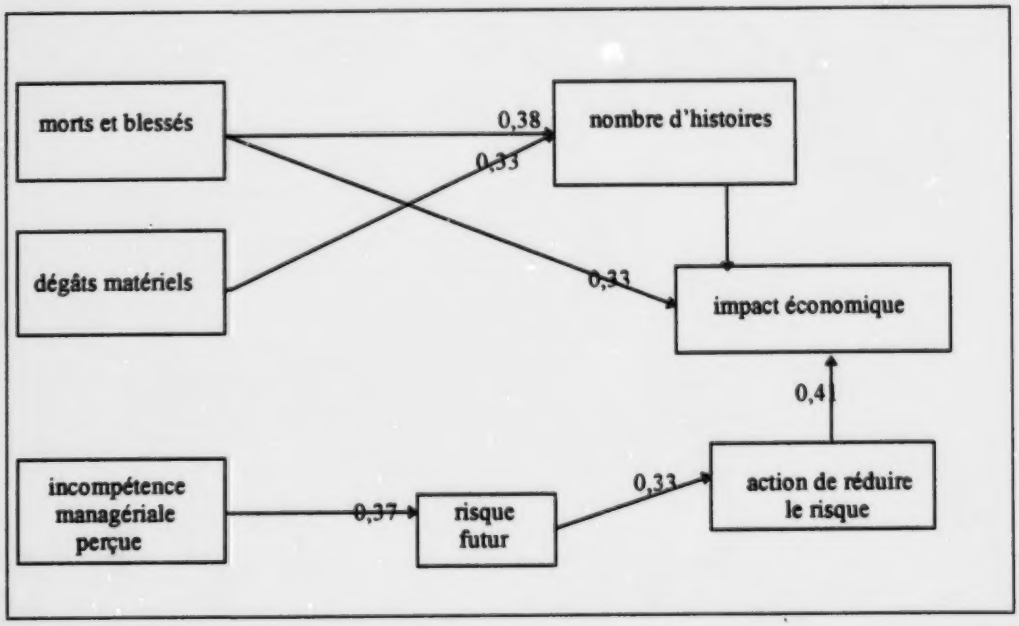


Figure 3.8 Modèle du risque de transport à indicateur unique. (Tirée de Burns et Clemen, 1993.)

La figure 3.9 représente le diagramme d'influence de l'exemple du risque de transport. La première étape du développement de ce modèle est à la génération de la structure probabiliste qui correspond au modèle d'une seule mesure. D'après les auteurs, le fait que l'impact économique est considéré comme la première inquiétude, il semble judicieux de construire le diagramme d'influence d'une telle façon à ce que l'impact économique dépende directement ou indirectement des autres variables du modèle. La deuxième étape, correspond à l'accroissement du modèle afin de contenir toutes les variables qui ne sont pas contenues dans le modèle de causalité. En particulier, le coût combiné avec l'impact économique détermine l'utilité d'un résultat.

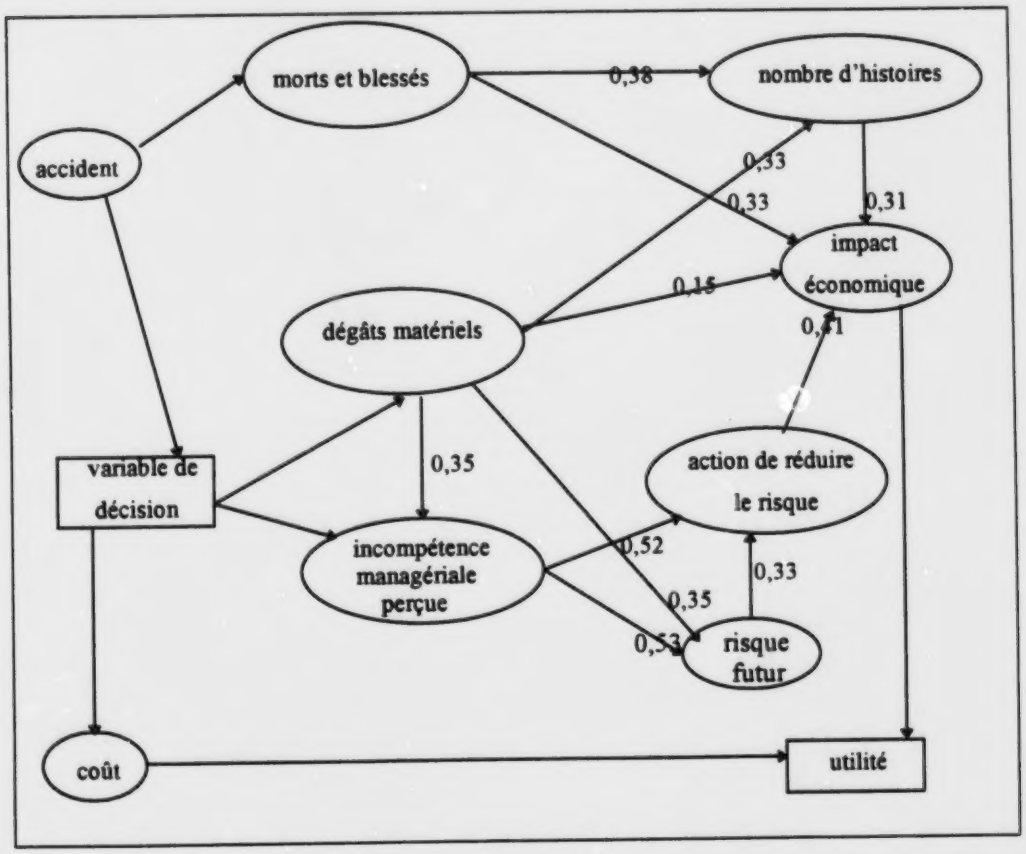
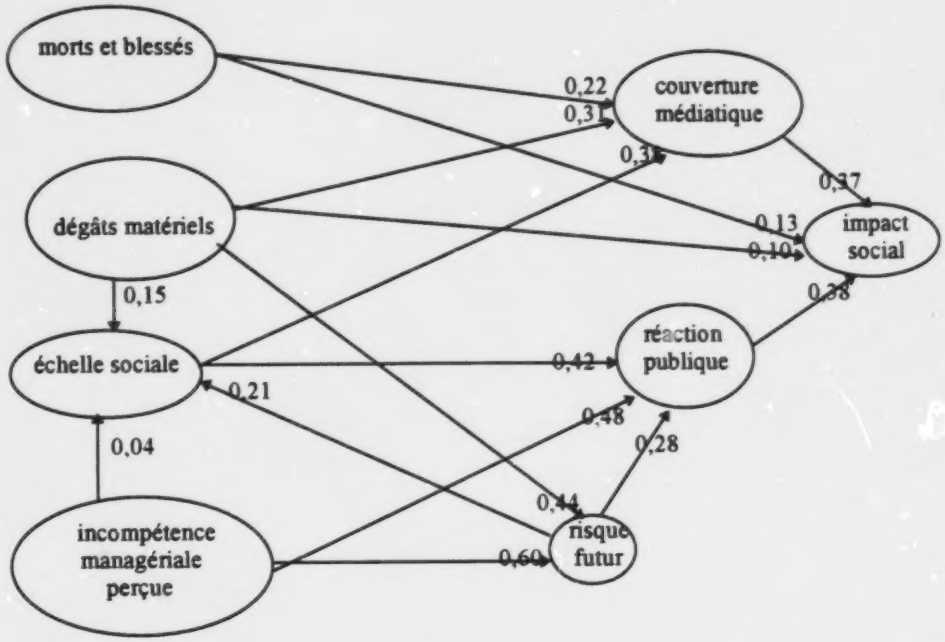


Figure 3.9 Diagramme d'influence pour la gestion du risque de transport basé sur le modèle à indicateur unique. (Tirée de Burns et Clemen, 1993.)

Dans l'exemple de décision hypothétique, les auteurs supposent que les alternatives de décision disponibles sont reliées à la gestion des accidents de transport qui vont affecter les facteurs tels que les morts et blessés, les dégâts matériels et l'incompétence managériale perçue. De plus, ils considèrent que le décideur choisit une stratégie de gestion d'accident sans qu'il sache quand ou si un accident arrivera. Ils rajoutent que la problématique sera donc le compromis entre le coût et les bénéfices économiques mesurés par la probabilité de l'arrivée d'un accident. Afin de modéliser l'incertitude de l'arrivée d'un accident, l'événement (accident) a été rajouté au modèle de la figure 3.9. À noter que cette variable est définie égale à 1 si un accident arrive, ou 0 dans le cas contraire. La probabilité de l'arrivée d'un accident peut être déterminée à partir des techniques de modélisation d'incertitude telles qu'une estimation empirique, un jugement par expertise, ou bien l'utilisation des modèles plus élaborés telle qu'une analyse « fault tree ».

La figure 3.10 nous indique la portion probabiliste du diagramme d'influence qui résulte du développement des indices composés des quatre facteurs. Tel qu'indiqué dans cette figure, les expressions des indices sont présentées tout en bas de celle-ci. Nous remarquons que les résultats de la figure 3.9 sont essentiellement consistants avec ceux de la figure 3.10. En d'autres termes, les coefficients reflètent le même type de relation entre les variables malgré la présence de quelques variations qui ont été remarquées (par exemple, les faibles relations directes entre les victimes et l'impact social et également entre l'échelle sociale et les médias). Ces variations sont dues à la différence d'information utilisée au cours du développement des deux diagrammes d'influence.



Équations des indices composés:

impact social = 0,57 (engagement politique) + 0,30 (impact économique)
réaction publique = 0,27 (engagement politique) + 0,11 (inquiétude)
+ 0,52 (action de réduire le risque) + 0,06 (critique)
échelle sociale = 0,57 (exposition humaine)
couverture médiatique = 0,14 (nombre d'histoires) + 0,73 (durée)

Figure 3.10 Portion probabiliste du diagramme d'influence pour la gestion du risque de transport utilisant des indices composés des quatre facteurs. (Tirée de Burns et Clemen, 1993.)

Nous pensons que l'intérêt général de l'utilisation de ce modèle décisionnel dans le domaine de la logistique des matières dangereuses réside dans le fait que celui-ci peut jouer un rôle pertinent dans l'établissement des étapes préliminaires d'une analyse de décision. De plus, l'utilisation de ce modèle peut nous aider à la formulation d'un problème dans une situation complexe. Par exemple, trouver l'ensemble des variables qui ont un lien direct avec le transport des matières dangereuses.

3.4 CONCLUSION

Nous désirons rappeler que même si nous avons cité, tout au long de ce chapitre, certains exemples qui portent sur la sélection des sites d'entreposage ou/et de traitement des matières dangereuses, nous pensons qu'ils peuvent contribuer au développement des modèles de sélection des routes appropriées au transport de celles-ci. Ceci est dû naturellement au fait qu'ils sont tous concernés par l'analyse des trois critères majeurs tels que le risque, l'équité et le coût.

Nous rappelons également que ce chapitre ne représente pas toute la revue de modèles d'analyse et de systèmes d'aide à la décision, mais contient, par contre, une bonne partie de ceux qui traitent des problèmes de la logistique des matières dangereuses à plusieurs objectifs. Ce chapitre nous permet donc de constater qu'il n'existe actuellement aucun modèle qui traite de la sélection de plusieurs origines et destinations et de plusieurs types de matières dangereuses, en même temps. D'après ce que nous avons remarqué, aucun des articles portant sur le transport des matières dangereuses ne considère conjointement les problématiques de la sélection globale des routes, décrite dans le premier chapitre. Donc, on peut conclure que toutes les études, réalisées jusqu'à présent, qui traitent de la logistique des matières dangereuses, sont dans l'incapacité d'expliquer un accroissement des différents risques et de leur distribution spatiale dans un réseau routier.

CHAPITRE IV

MÉTHODOLOGIE

4.1 INTRODUCTION

Afin de réaliser notre étude, nous avons besoin d'élaborer une méthodologie à travers laquelle nous allons expliquer comment nous allons aborder la problématique. Ainsi, il s'agit de clarifier, au cours de ce chapitre, les étapes nécessaires qui vont nous permettre d'atteindre notre objectif. De plus, nous devons expliquer l'outil utilisé afin de traiter notre problématique.

Pour mieux présenter ce chapitre, nous l'avons scindé en deux grandes parties. La première partie porte sur la méthodologie de cette recherche et la deuxième, sur l'explication et le rôle de l'outil d'aide à la décision utilisé aux fins de cette dernière. Avant de passer à l'élaboration des différentes parties de ce chapitre, nous pensons qu'il est essentiel de faire un rappel de l'objectif de l'étude.

4.2 OBJECTIF DE L'ÉTUDE EMPIRIQUE

Tel que nous l'avons mentionné dans la section 1.6 qui décrit la problématique de notre étude, si l'on choisit d'une façon individuelle plusieurs routes d'un réseau routier, le risque imposé aux populations va être minimisé en fonction de chaque route. C'est à dire, certains segments, pouvant former une route et qui constituent le moindre risque possible, vont être sélectionnés. Toutefois, si l'on décide de choisir simultanément plusieurs routes, la minimisation du risque se fera par rapport à toutes les routes. En d'autres termes, en fonction d'un grand nombre de segments possibles qui peuvent imposer le peu de risque aux populations.

Nous avons donc dit que lors des sélections simultanées de plusieurs routes, nous devons non seulement prêter attention aux compromis qui existent entre les différents critères d'analyse reliés à chaque route, mais aussi aux compromis associés à l'ensemble des routes. Nous devons alors porter attention à l'accroissement des différents risques sur certains segments de route et évidemment à leur distribution spatiale.

L'objet de cette étude consiste donc à vérifier si l'on peut faire une approximation des effets croisés, causés par les différents flux de transport, qui sont rencontrés lors d'une sélection globale des routes qui seront empruntées par le transport des matières dangereuses. Il s'agit alors de faire une comparaison, entre les résultats obtenus par les deux sélections des routes, individuelle et globale, qui va nous permettre de déterminer l'écart entre celles-ci, dû aux effets croisés, et donc tenter de faire leur approximation.

4.3 CRITÈRES D'ANALYSE CHOISIS

Pour tenter de satisfaire les points d'interrogation de l'objectif de l'étude empirique, nous devons tirer une idée sur l'utilité des différentes mesures et donc savoir quels critères d'analyse allons nous choisir afin d'atteindre la réponse de la question que nous tentons de trouver.

Après avoir démontré, notamment au cours des deux premiers chapitres, la nécessité d'utilisation des critères d'analyse, nous allons maintenant faire le choix de ceux qui sont appropriés à notre étude. Il est évident que nous ne pouvons pas utiliser tous les critères puisque certains ne conviennent pas à cette dernière.

À propos du risque, nous aurons besoin du modèle du risque traditionnel pour les raisons suivantes:

- Le risque conditionnel est éliminé parce que, comme nous l'avons d'ailleurs déjà mentionnée à la fin de la section du risque du deuxième chapitre, sa forme

fonctionnelle est basée sur un raisonnement illogique. Nous avons dit que puisque son dénominateur correspond à la probabilité d'incident, les routes qui ont des probabilités d'incident élevées auront de faibles risques conditionnels.

- Le modèle de la probabilité d'incident est également éliminé puisqu'il ne peut être appliqué que dans le cas du transport d'une matière dangereuse qui a un rayon de cercle de danger très petit. Dans un réseau routier, le rayon peut être grand s'il s'agit de certaines matières extrêmement dangereuses.

- Le modèle de la population exposée au risque ne peut pas être utilisé puisqu'il est particulièrement pertinent si la matière dangereuse est extrêmement nuisible, comme par exemple une substance nucléaire. De plus, avec ce modèle on minimise la population qui est exposée au risque du transport. Même si l'on suppose que la matière transportée n'impose aucun risque à la santé humaine (par exemple s'il s'agit d'une radiation minime pendant une courte période de temps), les perceptions publiques à propos des risques nucléaires sont différentes des évaluations des scientifiques. Donc, il est évident de prévoir que l'opposition publique envers le transport sera proportionnelle à la taille de la population exposée au risque. D'où la sélection des routes qui minimisent celle-ci peut donc avoir comme résultat, dans ce cas, une minimisation de l'opposition publique. La problématique de notre mémoire ne s'intéresse pas à ce fait.

- Finalement, le modèle du risque perçu est, à son tour, rejeté pour la raison suivante: la perception publique des conséquences des activités potentiellement dangereuses peut être représentée en utilisant un paramètre préférentiel $q > 1$. Cependant, ce paramètre peut augmenter proportionnellement avec la taille de la population au long des segments des routes empruntées par le transport. Les segments des routes qui ont de faibles populations peuvent devenir moins attrayants et par conséquent, le modèle aura tendance à sélectionner ceux qui passent à travers des régions très peuplées.

D'une autre part et à propos de l'équité, nous aurions souhaité utiliser une mesure très populaire d'inégalité, notamment le coefficient de variation, décrite dans la section d'équité du deuxième chapitre, qui exprime une mesure du degré de variance entre les différentes distances de la route empruntée par le transport des matières dangereuses et les centres de population. Mais, à cause d'une limite, telle que mentionnée ci-dessous, nous avons décidé d'utiliser une fonction de pénalité qui va nous permettre d'établir une distribution plus ou moins équitable du risque sur les différents segments de route utilisés aux fins du transport. Cette fonction correspondra au numérateur de la variance, notamment la formule 2.19, et sera composée de deux variables: le risque total et le risque moyen. À partir de cette formule, nous pouvons conclure que plus l'écart entre le risque total sur un lien défini et le risque moyen de tous les liens du réseau routier est moindre, plus la valeur de cette équation est petite, et donc plus la solution est équitable.

La raison pour laquelle nous n'aurions pas choisi le coefficient de variation comme fonction d'équité est la suivante:

- Le coefficient de variation (formule 2.21) exprime une mesure du degré de variance entre les différentes distances des routes et les centres de population. Toutefois, cette définition ne représente pas une distribution équitable du risque à l'égard du transport des matières dangereuses. Afin d'éclaircir ce point, considérons le contre-exemple suivant: supposons que nous avons cinq segments de route dont deux d'entre eux vont être utilisés aux fins du transport d'une matière dangereuse quelconque. Si les chiffres représentant les quantités transportées de cette dernière sont de 85, 40, 100, 30 et 20 tonnes et si les distances qui séparent les segments de route des centres de population ont une moyenne égale à 4 Km et correspondent donc à (3,7), (5,1), (3,2), (2,8) et (5,2 Km) respectivement pour le premier, deuxième, troisième, quatrième et cinquième segment de route, en utilisant le coefficient de variation, nous aurons tendance à choisir le premier et le troisième segments puisque leurs valeurs se

rapprochent le plus de la moyenne. Cependant, ils imposent le plus de risque aux populations par rapport aux trois autres segments.

Finalement, en ce qui concerne le coût, nous avons décidé de ne pas rendre son estimation complexe puisque son contenu ne porte pas beaucoup d'intérêt à l'étude, mais plutôt son appartenance parmi le risque et l'équité. On va l'inclure dans sa forme simple, c'est-à-dire, le coût de transport par unité de distance.

4.4 PLAN D'ANALYSE

Au cours de cette étude, nous aurons besoin de deux scénarios. Le premier, intitulé sélection individuelle des routes, aura pour but de sélectionner les routes une à la fois et le second, intitulé sélection globale des routes, correspondra à la sélection de toutes les routes simultanément.

Dans un premier temps, nous allons faire une affectation tout en minimisant le coût de transport et le risque imposé aux populations pour chacun des deux scénarios.

Dans le premier cas (sélection individuelle), lorsque les matières dangereuses seront affectées d'une origine à une destination précises, l'outil d'aide à la décision déterminera la route empruntée par le transport de ces matières. À ce niveau, nous aimerions rappeler qu'il existe plusieurs chemins possibles à l'intérieur d'une paire origine-destination (POD). Après l'affectation, l'outil choisira le chemin optimal en termes du coût total (coût de transport et risque). En d'autres termes, le chemin qui réalisera le moindre coût de transport et le moindre risque imposé aux populations.

Dans le second cas (sélection globale), après l'affectation des matières à leurs destinations, l'outil déterminera, simultanément, tous les chemins optimaux qui correspondent aux origines et destinations définies. La détermination simultanée des routes

se fera également en termes du coût de transport et du risque. Encore une fois, la différence entre les deux cas réside dans l'apparition des effets croisés dans le second.

Dans le cas de notre étude, nous ne souhaitons pas seulement obtenir des chemins optimaux en terme du coût et du risque, mais plutôt des chemins optimaux qui réalisent le moindre coût, le moindre risque et le maximum d'équité. Pour ce faire, nous aurons besoin d'étendre notre recherche.

Dans un deuxième temps, une fois que les résultats de la première affectation seront obtenus par les deux scénarios, nous allons faire une analyse de ceux-ci, déterminer le risque moyen dans la sélection globale des routes et par la suite faire une deuxième affectation. Étant donné qu'il n'existe aucun modèle capable d'intégrer en même temps les trois critères lors de la première affectation, nous serons dans l'obligeance de faire une deuxième qui sera renforcée par l'utilisation d'une troisième fonction de lien et qui sera une fonction de pénalité, nous permettant ainsi de réaliser une distribution plus ou moins équitable du risque sur les différents liens empruntés par le transport. À ce sujet, nous aimerions rajouter que l'équité est un critère que l'on ne peut pas modéliser dans un modèle d'optimisation et qu'il est possible de le résoudre de la manière telle que proposée.

Nous aimerions également signaler que cette étape pourra se faire plus d'une fois. Ceci dépendra évidemment des résultats qui seront obtenus. Si par exemple, nous arriverons à atteindre une répartition équitable au cours du premier test, nous allons nous contenter de ses résultats. Si non, nous calculerons le risque moyen une autre fois et referons une autre affectation jusqu'à ce que nous obtenions des résultats satisfaisants en termes de coût, de risque et d'équité.

Dans un troisième et dernier temps, nous allons faire une comparaison des deux scénarios et ensuite essayer de faire une analyse de l'approximation des effets croisés.

Les fonctions et les matrices que l'on va utiliser seront présentées et expliquées dans les deux sections suivantes

4.4.1 Les matrices

Les matrices dont on aura besoin dans cette étude seront des matrices de demande à origine et à destination. Afin d'avoir un maximum d'origines et de destinations et donc un maximum d'effets croisés, on va utiliser 15 matrices telles que décrites dans le tableau qui suit.

Tableau 4.1
Tableau représentant les matrices utilisées dans l'étude

Matrice	Origine	Destination	quantité des matières dangereuses transportées (en tonne)
mf01	Pierreville (2)	Chicoutimi (8)	70
mf02	Sherbrooke (4)	Joliette (13)	80
mf03	Montréal (5)	Drummondville (1)	90
mf04	Montréal (5)	Chicoutimi (8)	125
mf05	Granby (6)	Sherbrooke (4)	105
mf06	Granby (6)	Montréal (5)	135
mf07	Trois-Rivières (7)	St.-Jean sur Richelieu (3)	100
mf08	Chicoutimi (8)	Sherbrooke (4)	90
mf09	Québec (9)	St.-Jean sur Richelieu (3)	115
mf10	St.-Germain (10)	Joliette (13)	110
mf11	Victoria ville (11)	Montréal (5)	120
mf12	Chibougamau (12)	Trois-Rivières (7)	130
mf13	Charny (14)	St.-Jean sur Richelieu (3)	105
mf14	Rivière-du-loup (15)	St.-Jean sur Richelieu (3)	85
mf15	toutes les origines	toutes les destinations	toutes les quantités

À noter que les chiffres qui sont entre parenthèses correspondent aux numéros des centroides utilisés dans la banque de données du réseau routier de la province de Québec.

Afin de poursuivre cette étude, nous allons consacrer le premier scénario à l'affectation d'une demande à la fois (c'est-à-dire, l'exécution, une à la fois, des quatorze premières matrices). Par contre, le deuxième scénario sera consacré à l'affectation de toutes les demandes en même temps. En d'autres termes, l'exécution de la dernière matrice (quinzième).

4.4.2 Les fonctions

Les fonctions qui seront utilisées dans notre cas vont être associées à tous les liens du réseau routier et sont donc, par définition, des fonctions du coût par unité qui vont être multipliées, lors de l'affectation, par les volumes des produits transportés dans le but de former une fonction du coût total, tel que nous l'avons mentionné précédemment dans ce chapitre. Comme nous n'avons qu'un seul mode de transport (route), nous n'aurons pas besoin des fonctions de transfert. À ce sujet, nous rappelons que les fonctions de transfert ne sont nécessaires que lorsqu'il s'agit d'une étude où plusieurs modes de transport, tels que route, rail, maritime, etc., sont utilisés. Elles permettent de calculer, par exemple, le coût de transfert des produits transportés entre plusieurs modes.

Nous avons spécifié trois fonctions à chaque lien dont chacune d'entre elles correspond à un critère d'analyse. Ces fonctions sont représentées par des expressions algébriques telles que mentionnées dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2
Tableau représentant les fonctions utilisées dans l'étude

Fonction	critère d'analyse
$fl_1 = ul_3 \times length$	coût de transport
$fl_2 = ul_1 / wbyveh$	risque
$fl_3 = (ul_1 / wbyveh) + ((ul_1^2 \times volprod / wbyveh^2) - (2 \times 12{,}29 \times ul_1 / wbyveh) + (12{,}29^2 / volprod) \times (volprod.gt.0))$	équité

À partir du tableau 4.2, nous remarquons que les trois fonctions contiennent des variables et des mots-clefs spécifiés dans les expressions algébriques qui les définissent. Nous consacrons cette section à l'explication de chacune d'entre elles.

4.4.2.1 Fonction du coût de transport

Telle qu'elle est décrite dans le tableau 4.2, cette fonction contient une variable : ul_3 et un mot-clef : « length ». La variable correspond au coût unitaire du transport sur chaque lien (voir appendice A.1) et le mot-clef, à la longueur de chaque lien (voir appendice A.2). Lors de la détermination de la route de transport entre une origine et une destination, les volumes des matières dangereuses transportées sur tous les liens qui forment cette route seront multipliés par les fonctions de coût unitaire afin de calculer le coût total de transport de cette même route.

4.4.2.2 Fonction du risque

Dans la section 4.3 qui décrit les critères d'analyse choisis pour notre étude, nous avons opté pour le risque traditionnel. La fonction du risque fl_2, décrite dans le tableau 4.2, correspond effectivement à celui-ci. Elle est composée d'une variable: ul_1 et d'un mot-clef: « wbyveh » référant au poids d'un véhicule plein. Le tableau 4.4 nous montre que la variable ul_1 correspond au risque de transport sur chaque lien du réseau. Elle est égale à la probabilité d'accident sur un lien déterminé multipliée par la population qui réside à proximité de ce lien et également par sa longueur. Puisque la fonction fl_2 est une fonction de lien, elle sera également, comme toutes les autres fonctions de lien, multipliée par les volumes des matières transportées. Le risque de transport imposé à la population accroît avec le nombre de véhicules utilisés. En d'autres termes, si le nombre de véhicules transportant les matières dangereuses est égale à trois, le risque de transport sera multiplié par ce même chiffre. C'est pour cette raison que l'on a divisé le risque par le mot-clef: « wbyveh ». Afin d'éclaircir la fonction fl_2, nous procédons méthodiquement à son explication de la façon suivante: Pendant l'affectation des matières, la fonction de risque $fl_2 = ul_1$ / wbyveh sera multipliée par le volume de ces matières transportées, désigné dans STAN par volprod, et sera donc égale à $fl_2 = ((ul_1 / \text{wbyveh}) \times \text{volprod})$. Le rapport entre le volume des matières transportées et le poids du véhicule plein (volprod / wbyveh) nous donne le nombre de véhicules utilisés, représenté dans STAN par le mot-clef : « vehprod ». D'où la fonction du risque sera égale à $fl_2 = (ul_1 \times \text{Vehprod})$. Littéralement, cette fonction nous permettra de calculer le risque par rapport au nombre de véhicules. À noter que dans le cas de notre étude, chaque véhicule pèse 2, 5 tonnes et peut contenir 10 tonnes de matières dangereuses.

4.4.2.3 Fonction d'équité

Avant de procéder méthodiquement à l'explication de la fonction d'équité, nous aimerions rappeler que celle-ci correspond au numérateur de la variance et est composée de deux variables. La première étant le risque total et la deuxième représente le risque moyen.

Si nous procédons ainsi, c'est parce que l'équité est de nature un critère que nous ne pouvons pas modélisé en fonction du coût et du risque. Nous pensons que cette façon de faire est la meilleure que l'on puisse utiliser. D'ailleurs, à partir de cette fonction, tel que nous l'avons mentionné dans la section 4.3 qui porte sur les critères d'analyse choisis, nous pouvons conclure que plus l'écart entre le risque total sur un lien défini et le risque moyen sur tous les liens est moindre, plus la valeur de cette fonction est petite, et donc plus la solution est équitable.

Afin de pouvoir rendre cette fonction de pénalité plus compréhensible, nous allons essayer de l'expliquer, étape par étape, comme suit:

- Le risque total du lien = ($ul_1 \times$ volprod / wbyveh). C'est-à-dire le risque unitaire multiplié par le nombre total de véhicules qui passent à travers ce lien.

- Le risque moyen de tous les liens du réseau = 19,69. En d'autres termes, la somme de tous les risques unitaires (6104,83) divisée par le nombre de liens (310) du réseau routier de la province de Québec.

Si l'on fait la différence du risque total du lien et du risque moyen au carré, on obtiendra la fonction suivante: ($ul_1^2 \times$ volprod^2 / wbyveh^2) - ($2 \times 19{,}69^2 \times ul_1 \times$ volprod / wbyveh) + $19{,}69^2$. Ce raisonnement mathématique résulte de l'identité qui stipule que $(A - B)^2 = A^2 - 2AB + B^2$.

Étant donné que la fonction de pénalité est également une fonction de lien, elle sera multipliée par le volume total des matières transportées. Une fois que l'on a formulé cette fonction, nous avons calculé ses risques total et moyen par rapport au volume total. Si nous l'avons divisée par le mot-clef « volprod », c'est pour qu'elle ne soit pas multipliée une fois de plus, au cours de l'affectation, par le volume des matières transportées. Elle s'exprime donc comme suit: $(ul_1^2 \times volprod / wbyveh^2) - (2 \times 19{,}69^2 \times ul_1 / wbyveh) + (19{,}69^2 / volprod)$.

Finalement, afin d'éviter des résultats qui tendent vers l'infini, nous lui avons associé l'expression suivante: (volprod.gt.0). Encore, si l'on rassemble toutes les composantes citées ci-dessus, on obtiendra la fonction d'équité (fl_3) contenue dans le tableau 4.2.

4.5 DESCRIPTION DE L'OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION

STAN (Strategic and Transportation Analysis) est un système graphique et interactif désigné spécifiquement au planification stratégique du transport au niveau national et régional. Ce système, développé par Crainic, Florian, Guélat et Spiess (1990), offre un cadre complet, détaillé et flexible de modélisation. Celui-ci, qui est associé à des techniques algorithmiques mises à jour et à des capacités de calcul puissantes, permet au planificateur de s'engager dans le processus de planification tout en utilisant une terminologie qui lui est familière.

Une utilisation typique de STAN est la comparaison et l'évaluation de différentes alternatives. Généralement, une situation actuelle est décrite par un des scénarios de la banque de données (scénario de base). Une simulation des flux de transport est mise en exécution et les situations ultérieures sont décrites par d'autres scénarios qui sont bâtis et contenus dans la banque de données. La simulation des flux de transport est exécutée en se basant sur ces scénarios et donc les flux, les coûts ainsi que les autres indicateurs de performance, tels que ceux que nous allons utiliser dans notre étude, peuvent être comparés à ceux du scénario de base afin d'effectuer différentes analyses et évaluations de comparaison.

STAN permet de représenter et de manipuler les éléments fonctionnels et essentiels du système de transport que l'utilisateur considère une fois qu'il entreprend ses analyses stratégiques. D'une part, les réseaux qui représentent l'infrastructure ainsi que les services qui forment l'offre de chaque système de transport doivent être établis. Dans ce cas, les modes sont utilisés afin de spécifier comment les activités de transport sont effectuées, les noeuds et les liens (arcs) pour représenter la disposition spatiale du système de transport et les transferts afin de reproduire les caractéristiques des opérations du transbordement inter-modale de tels systèmes. D'une autre part, la demande pour le transport doit être définie par les produits particuliers ou les groupes de produits à analyser et les zones de production et de consommation qui constituent la(les) région(s) sous étude, telle que la demande par produit. En d'autres termes, les quantités de chaque produit qui doivent être déplacées d'une zone à une autre.

Deux types d'éléments, véhicules et fonctions, relient l'offre à la demande. Les véhicules, parfois regroupés sous forme de convois, sont utilisés afin d'effectuer les opérations de transport nécessaires pour satisfaire la demande. Les fonctions représentent les critères utilisés afin de déterminer comment le trafic se fait sur le réseau. Elles peuvent également contenir des facteurs associés au temps et au coût de transport, au phénomène de congestion, aux préoccupations environnementales, au prix de l'énergie utilisée et à d'autres mesures de performance. Finalement, un modèle d'affectation de plusieurs modes et produits offre les moyens de simuler le déplacement du trafic et la performance du système de transport: comment la demande est satisfaite par le mouvement des quantités des produits, spécifiés dans les matrices à origine et à destination, sur le réseau multi-modale qui est déterminé selon les critères spécifiés par les fonctions. La figure 4.1 représente, tout en illustrant leurs relations, les éléments essentiels de STAN et également les types de données associées.

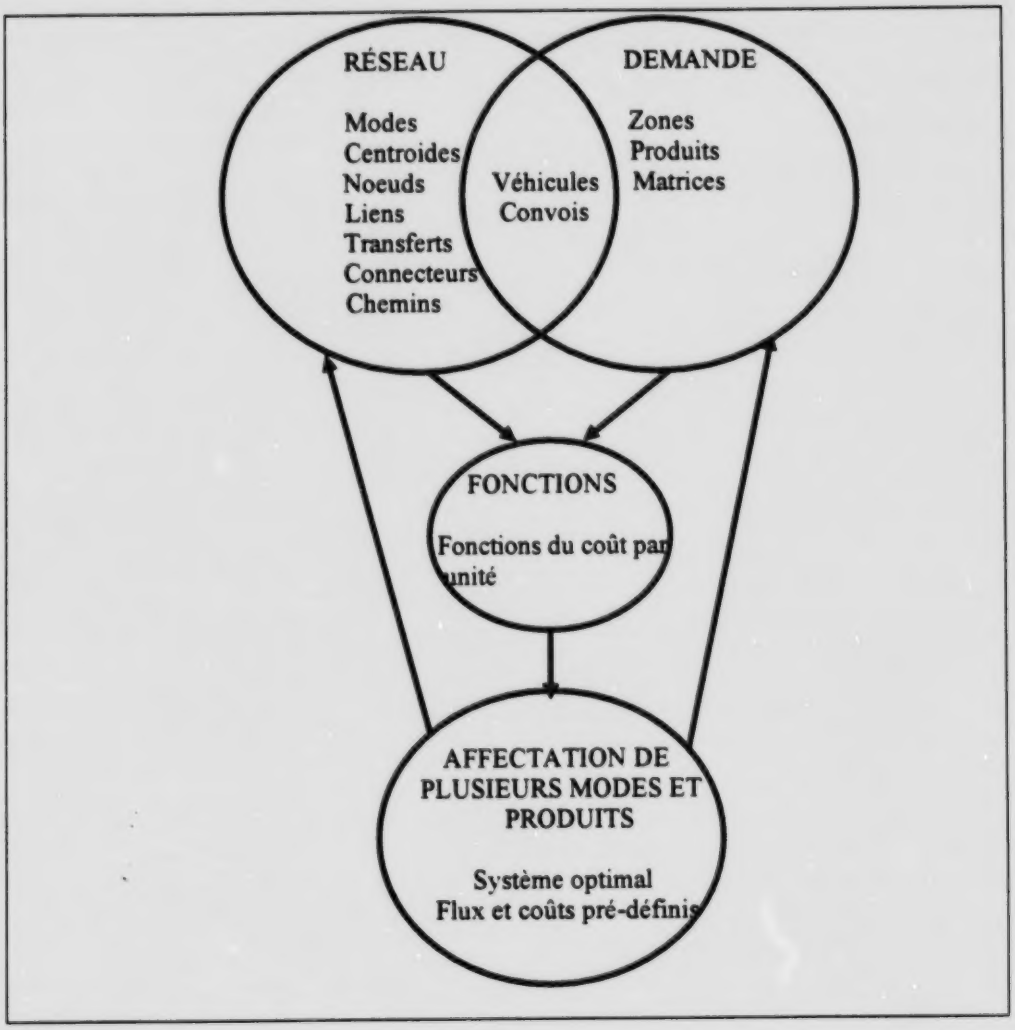


FIGURE 4.1 Les composantes du modèle STAN. (Tirée de Crainic et al., 1990.)

4.5.1 Concepts généraux qui sous-tendent le design de STAN

Le système STAN est composé d'une série de modules utilisés pour saisir, modifier, visualiser et extraire toute l'information pertinente et nécessaire à l'analyse stratégique des réseaux de transport. Toutes les données peuvent être saisies et modifiées aussi bien de façon interactive qu'en traitement de lots. La figure 4.2 nous montre une représentation schématique d'une banque de données de STAN, utile à la clarification des descriptions qui suivent.

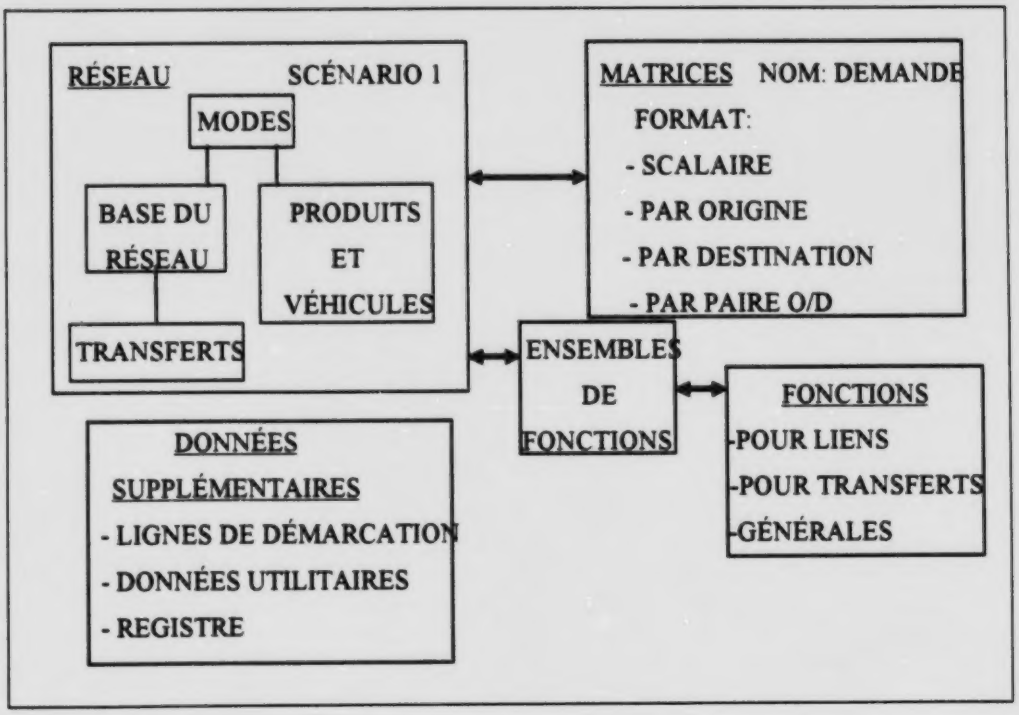


FIGURE 4.2 Banque de données de STAN. (Tirée de Crainic et al., 1990.)

Avec le système STAN, les données qui peuvent être saisies, modifiées et utilisées pour des calculs se trouvent logées dans trois catégories majeures: réseaux, matrices et fonctions. Les données du réseau peuvent être saisies, modifiées et affichées par l'éditeur de réseau. L'éditeur de matrice exécute les mêmes opérations pour les matrices et facilite également leurs calculs. Tous les ensembles de fonctions ainsi que les fonctions sont saisies et évaluées par l'éditeur de fonction. La banque de données du système peut aussi contenir des lignes de démarcation, des données utilitaires et un registre qui nous réfère aux données supplémentaires. Les lignes de démarcation peuvent être superposées aux afficheurs graphiques afin de les rendre plus lisibles. Elles contiennent les titres, les paramètres des modules, etc. Un registre nous facilite l'utilisation des différents modules du système.

Dans les sections suivantes, nous allons décrire les réseaux, les matrices et les fonctions qui peuvent être saisis et manipulés par le système STAN.

4.5.1.1 Les réseaux

L'infrastructure de transport qui traverse la région étudiée par le système est représentée par un réseau multi-modale. Les flux qui peuvent apparaître sur ce réseau de transport sont décrits par une spécification des produits et des modes utilisés pour leur transport. Un scénario de réseau est décrit par un ensemble de modes, de produits, de véhicules, de base de données et de transferts.

Un produit (collection de produits similaires) peut être un bien ou un passager qui génère un flux de liens qui lui sont spécifiquement associés. Un mode est un moyen de transport qui possède ses propres caractéristiques tels que le type de véhicule, la capacité, etc.

Selon l'envergure et le degré d'étude stratégique envisagée, un mode peut représenter une partie de son réseau reflétant un service de transport particulier ou une infrastructure de transport spécifique tels que les réseaux de transport ou les ports.

La base du réseau est définie par la liste de tous les noeuds et tous les liens entre ces noeuds. Dans STAN, les liens parallèles sont permis tout en considérant que chaque mode est autorisé sur un lien donné. Encore, un transfert est défini sur un noeud comme une séquence à partir du mode du premier lien, via le noeud, jusqu'au mode du dernier lien. Ainsi, les transferts représentent les voyages inter-modales sur les noeuds.

Pour chaque produit, un type de véhicule est spécifié pour chaque mode. Un véhicule est décrit par son poids, par le poids qu'il peut transporter et par le poids optionnel du convoi (utilisé, par exemple, afin de spécifier la longueur d'un train). Le nombre des types de véhicule est égal au nombre de produits multiplié par le nombre des modes autorisés.

L'utilisateur peut spécifier jusqu'à trois éléments de données additionnelles pour chaque mode, produit, véhicule, noeud et lien. De telles données peuvent être des flux observés ou des données que le planificateur a l'intention d'utiliser dans des analyses subséquentes.

Chaque ensemble de données du réseau entier (modes, produits, véhicules, base de réseau et transferts) forme un scénario. De plus, l'utilisateur du système peut définir un nouveau scénario par une reproduction des données actuelles d'un scénario quelconque et par des changements appropriés à chacune des composantes des données du réseau. Toutes ces manipulations peuvent être exécutées de façon interactive, graphiquement si nécessaire.

4.5.1.2 Les matrices

Les matrices qui sont manipulées par STAN peuvent être des vecteurs à origine et à destination ou des scalaires. Elles peuvent contenir des données variées qui sont reliées aux subdivisions de la région étudiée telles que des matrices de demande par origine et destination, de production par origine et d'attraction par destination. Une matrice peut être un intrant ou un rendement d'une procédure de calcul.

Ces matrices peuvent être saisies, modifiées et graphiquement visualisées par l'utilisation de l'éditeur de matrice qui est désigné spécifiquement afin de permettre à l'utilisateur de choisir un format de matrice qui évite les duplicatas des données dans la banque de données. Par exemple, si une matrice entière contient les mêmes valeurs dans ses cellules, l'utilisateur peut donc seulement spécifier une matrice scalaire comme sa valeur. De plus, chaque scénario du réseau, créé par l'éditeur de réseau, peut être utilisé par n'importe quelle matrice dans la banque de données; l'utilisateur identifie les matrices pertinentes qu'il a l'intention d'utiliser avec un scénario donné.

L'éditeur de matrice contient un module qui permet à l'utilisateur d'exécuter les calculs des matrices. L'utilisateur spécifie les opérations qu'il veut exécuter comme, par exemple, des expressions algébriques. Les variables qui peuvent être utilisées dans ces expressions sont les matrices de la banque de données, les nombres de centroides et les groupes de zones qui contiennent plusieurs noeuds dans une région géographique semblable. Chaque zone est représentée dans le réseau par un noeud spécial appelé un centroide.

4.5.1.3 Les fonctions

STAN nous permet l'utilisation d'une variété de fonctions qui peuvent être reliées à des liens et des transferts. Un maximum de trois fonctions peut être spécifié pour chaque lien, ou chaque transfert, pour chaque produit défini dans un scénario. Les fonctions qui sont associées aux liens et aux transferts sont des fonctions de coût par unité qui vont être multipliées par les volumes des produits afin de former une fonction du coût total. Ces fonctions doivent être spécifiées par l'utilisateur comme des expressions algébriques en utilisant des opérateurs arithmétiques, logiques et des fonctions essentielles. Une fonction peut être évaluée avec les données qui correspondent aux variables spécifiées par l'utilisateur du système dans les expressions algébriques qui la définissent.

De plus, un ensemble de fonctions associé à un lien, ou un transfère, peut contenir jusqu'à trois fonctions pour chaque produit d'un scénario. L'ordre des fonctions dans un

ensemble de fonctions correspond à celui des composantes du coût total. Les ensembles de fonctions sont considérés comme une façon efficiente permettant à l'utilisateur du système d'associer les fonctions aux liens et aux transferts. Plusieurs liens et transferts peuvent avoir le même ensemble de fonctions.

4.5.1.4 Les procédures d'affectation

La procédure d'affectation générale fournie par STAN est une méthode d'affectation de plusieurs modes et produits. Elle permet de minimiser le coût généralisé du système de transport des produits considérés, à travers les modes autorisés, entre toutes les origines et destinations. Pour chaque produit, un ensemble de modes peut être spécifié. De plus, la matrice de demande par origine/destination peut être répartie en plusieurs matrices auxquelles des sous ensembles de modes autorisés peuvent être définis, respectivement. Cette façon permet l'introduction des choix de modes pré-définis dans le système. Il est également possible d'affecter tous les produits à tous les modes en se basant exclusivement sur des mesures de performance. Si les services de certains modes sont sujets à des restrictions de capacité, celles-ci peuvent être modélisées par des fonctions de pénalité qui sont souvent intégrées dans des fonctions de coût.

L'affectation est effectuée par l'utilisation d'une fonction du coût total généralisé de la façon suivante:

$$= \sum_{\text{produits}} \left(\sum_{\text{liens}} \text{coût unitaire généralisé (volume)}_1^p \; \text{volume}_1^p \right)$$
$$+ \sum_{\text{transfères}} \left(\text{coût unitaire généralisé (volume)}_1^p \; \text{volume}_1^p \right)$$

Cette dernière est une combinaison pondérée d'au moins trois fonctions qui correspondent aux trois composantes des ensembles de fonctions. Donc, la distribution du trafic sur le réseau multi-modale peut être simulée en utilisant des mesures de performance variées. Un exemple concret de ces mesures est celui du coût, du risque et de l'équité.

4.5.1.5 Les résultats

STAN permet à l'utilisateur d'obtenir une grande variété de résultats dans une forme graphique et interactive. La particularité majeure des résultats est la possibilité des comparaisons interactives des scénarios avec des visualisations graphiques. Alors que les résultats importants et pertinents aux comparaisons des scénarios sont reliés aux flux et aux coûts, une grande variété d'autres résultats peut être obtenue par l'utilisation des données définies par l'utilisateur.

4.5.1.6 Les données supplémentaires

Les données supplémentaires consistent des lignes de démarcation, du registre et des données utilitaires. L'utilisateur peut définir les lignes de démarcation qui peuvent être superposées sur un graphique. Une ligne de démarcation peut identifier des caractéristiques géographiques de la région comme, par exemple, des rivières ou des montagnes ou encore certaines régions du pays tels que les provinces et les états. À son tour, un registre contient l'identité des modules et des éléments de la banque de données utilisée dans STAN. Le registre n'est pas créé automatiquement, il doit être fait par l'utilisateur. Finalement, les données utilitaires se réfèrent à certaines données reliées à l'utilisation du système. Elles peuvent être transférées à partir d'une base de données de STAN à une autre afin de faciliter la construction de nouvelles banques de données.

4.6 ADAPTATION DE LA PROBLÉMATIQUE À L'OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION

Nous rappelons que l'objectif de l'outil STAN est de représenter correctement les éléments du système, tenir compte de leurs interactions et obtenir également une estimation globale des mouvements de tous les produits, par l'intermédiaire des modes de transport disponibles.

Afin de réaliser ces objectifs, nous aurons besoin de données relatives à l'infrastructure et aux services du système de transport, telles que les données associées au réseau, aux demandes, telles que les quantités associées aux matrices, et aux fonctions, telles que les variables de mesure.

Le réseau routier de la province de Québec (voir appendice A.3), qui va servir à cette étude, est un réseau obtenu par la banque de données de STAN. Il est composé de 310 liens (segments de route) reliant à peu près une centaine de villes et villages (voir appendice A.4). Afin de le compléter pour servir à notre recherche, nous allons relier à chacun de ses liens deux données additionnelles (variables), telles que mentionnées dans la section qui suit, qui vont être utilisées par nos fonctions. La première variable correspondra au coût de transport et la deuxième, au risque. À ce niveau, nous désirons rappeler que la variable de risque est constituée, elle même, de trois autres variables qui sont la probabilité d'incident, la population et la distance du lien. Compte tenu du fait que STAN ne nous permet l'utilisation que de trois données additionnelles pouvant être reliées à chaque lien du réseau, nous sommes dans l'obligation de calculer à part cette variable de risque et ensuite associer sa valeur obtenue à chaque lien (voir appendice A.2). Ceci afin de pouvoir utiliser les deux autres variables additionnelles pour les deux autres fonctions.

En plus, afin de faire correspondre les chiffres représentant les différentes populations aux différents liens, nous avons pris l'initiative de diviser chaque population par le nombre de liens qui lui sont reliés. Par exemple, la population de Drummondville est égale à 52.590 personnes. Afin de la représenter sur notre réseau routier, nous allons la diviser par 6 et associer la valeur obtenue à chacun des 6 liens qui sont reliés à son centre de population. De cette façon, nous obtiendrons 8765 personnes sur les liens suivants: de 1708 à 1, de 1708 à 1711, de 1708 à 1743, de 1708 à 1745 et de 1708 à 1746. Nous savons pertinemment que cette façon de faire n'est pas représentative de la réalité. Néanmoins, elle se rapproche le plus d'elle.

De plus, nous allons spécifier dans les matrices les quantités de matières dangereuses qui vont être transportées. À ce niveau, nous avons décidé de choisir 15 paires origine-destination (POD) à partir du réseau routier de la province de Québec. Plus spécifiquement, ces POD sont réparties entre quelques villes principales telles que Chicoutimi, Drummondville, Québec, Montréal, Saint-Germain, Sherbrooke, Trois-Rivières, etc.

Le choix de ces POD réside dans le fait qu'il existe des avantages. Par exemple, l'échantillon contiendra plusieurs routes qui sont situées les unes à côté des autres et qui établissent diverses connexions entre elles. D'ou on pourra avoir un maximum d'effets croisés. De plus, nous essayerons de couvrir une grande partie du territoire québécois.

Avant de passer à la section du plan d'analyse, où on va décrire la façon avec laquelle nous procéderons afin d'atteindre l'objectif de notre étude, nous désirons introduire certaines explications que nous jugeons nécessaires à la compréhension de l'adaptation de notre problématique à l'outil d'aide à la décision STAN.

Nous savons que le choix des routes qui vont servir au transport des matières dangereuses est basée sur une minimisation du coût et du risque et également sur une maximisation de l'équité. Afin de réaliser cela, nous devons associer à chaque lien deux fonctions et par la suite une troisième fonction (voir section 4.4), dont chacune va représenter un critère d'analyse, que nous allons intégrer dans des fonctions de coût afin de pouvoir les modéliser. De plus, nous utiliserons un seul mode de transport (route) et un seul produit (hazmat). Cette façon nous permettra donc, au cours des simulations, de minimiser le coût du système total généralisé du transport du produit, à travers le mode route et entre chaque origine et destination définies, par une combinaison pondérée des critères d'analyse. Compte tenu du fait que nous n'avons au plus que trois fonctions de coût, nous n'aurons donc besoin que d'un seul ensemble de fonctions où le coût de transport, le risque et l'équité correspondront au coût opérationnel, au coût de retard et à un autre coût, respectivement dans le coût total du système.

4.7 BANQUE DE DONNÉES

La banque de données qui a servi à la réalisation de cette recherche est constituée de données telles que les populations des villes, les probabilités d'accident reliées au transport des matières dangereuses, les longueurs des différents segments de route, les quantités de matières dangereuses transportées et également les coûts de transport.

Les données associées à ce réseau et qui ont servi de base à cette recherche proviennent de statistiques Canada: statistiques démographiques pour l'année 1996, itinéraires et distances routières au Québec, répertoire des municipalités en 1989 de la province de Québec et transport au Québec pour l'année 1996.

Au cours de cette recherche, nous avons constaté que les probabilités d'accident reliées au transport des matières dangereuses sont indispensables. Afin de résoudre ce problème, nous nous sommes basés sur les probabilités citées dans la revue de littérature qui préconise qu'elles sont situées entre 10^{-4} et 10^{-6} par mile. Dans le cas de notre recherche, nous les avons considérées en Km au lieu du mile et les avons éparpillées de façon aléatoire sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec.

En plus de l'indisponibilité des probabilités d'accident, la répartition des populations sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec n'est pas parfaitement représentative de la répartition réelle. À ce sujet, nous voulons mentionner qu'au cours de cette étude, nous avons essayé de nous rapprocher le plus possible de la réalité. Tel que mentionné dans la section 4.6, nous avons donc pris l'initiative de diviser chaque population par le nombre de liens qui lui sont reliés.

4.8 CONCLUSION

Nous désirons signaler qu'il n'existe actuellement aucun outil conçu afin de résoudre totalement notre problématique. Si le choix de l'outil d'aide à la décision a été opté pour STAN, c'est parce que nous le considérons comme le meilleur outil à atteindre l'objectif de cette étude. De plus, si nous allons utiliser dans cette recherche deux affectations, où l'on ne tiendra pas compte dans la première de la distribution spatiale du risque, c'est parce qu'il n'existe, de nos jours, aucune fonction d'équité pouvant être modélisée en combinaison des deux autres fonctions dans la première affectation. Nous pensons que cette façon, avec laquelle nous allons procéder, pourra nous permettre de faire une approximation des effets croisés.

Finalement, nous aimerions rajouter que l'indisponibilité de certaines données, telles que celles mentionnées dans le section précédente, n'auront aucun effet négatif sur la réussite de notre étude puisque que l'intérêt majeur ciblé n'est pas d'utiliser des données parfaitement exactes, mais plutôt d'essayer de faire une approximation des effets croisés.

CHAPITRE V

PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

5.1 INTRODUCTION

Après avoir élaboré la méthodologie de notre recherche, nous sommes rendus à l'étape qui concerne la saisie des données. À cet effet, nous nous sommes servis, tel que nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, de l'outil d'aide à la décision intitulé STAN.

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus, les interpréter afin de les rendre plus compréhensibles et donc les analyser.

Suite à notre démarche méthodologique, nous avons décidé de scinder ce chapitre en quatre grandes parties. La première partie concernera la présentation et l'interprétation des résultats de la première affectation des demandes de transport, la deuxième partie correspondra également à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus lors de l'affectation (ou les affectations) subséquente(s) et ensuite la troisième partie correspondra à une comparaison des résultats réalisés par les deux scénarios. Finalement, la quatrième et dernière partie portera sur des recommandations qui vont être complémentaires à la réponse de la question de notre problématique.

5.2 RÉSULTATS DE LA PREMIÈRE AFFECTATION DES DEMANDES

Ces résultats portent sur la détermination des routes, en tenant compte du coût et du risque, qui seront empruntées par le transport des matières dangereuses (hazmat).

Afin de réaliser cette première étape de l'étude, nous avons fait l'affectation des quatorze demandes individuellement et ensuite l'affectation de toutes les demandes simultanément.

5.2.1 Sélection individuelle des routes

Suite à l'utilisation du module 6.14 de l'outil d'aide à la décision STAN, nous avons réussi à obtenir les quantités des matières transportées et donc déterminer les différents liens formant chacune des routes. Du fait du nombre élevé de pages (6 pour chaque route), nous avons décidé de ne pas annexer tous les tableaux. Par contre, nous avons pris l'initiative d'annexer un modèle (voir appendice B.1) et rassembler toutes les routes dans un seul tableau (voir appendice B.2) où chacune correspond au chemin optimal, en terme de coût total, pour chaque demande. Par exemple, la route 1, la route 2, ... et la route 14 correspondent aux chemins optimaux de la demande 1, la demande 2, ... et la demande 14, respectivement.

Afin de calculer le coût total (coût de transport + risque) réalisé par le transport sur chaque route, nous avons utilisé les modules 5.11 et 5.21 de STAN, qui nous permettent d'exécuter les affectations et donc de minimiser les coûts totaux des routes. Avant de passer aux étapes subséquentes, nous désirons mentionner que nous avons obtenu des résultats quasi semblables avec plusieurs tests possibles. Étant donné que ceux du troisième test, dans lequel nous avons utilisés trois itérations, réalisent les moindres coûts, nous avons décidé de garder ceux-là. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant:

TABLEAU 5.3

Représentation des coûts totaux, coûts de transport et risques réalisés par le transport sur les routes sélectionnées (première affectation)

Routes	Valeur de la fonction-objectif ($)	Valeur du coût de transport ($)	Valeur du risque ($)
route 1	0,428967E+05	0,410410E+05	0,927864E+03
route 2	0,234430E+05	0,233904E+05	0,263040E+00
route 3	0,106836E+05	0,981900E+04	0,432288E+03
route 4	0,818189E+05	0,784875E+05	0,166570E+04
route 5	0,285153E+05	0,276056E+05	0,454860E+03
route 6	0,210236E+05	0,208845E+05	0,695520E+02
route 7	0,132619E+05	0,131790E+05	0,414400E+02
route 8	0,569444E+05	0,543375E+05	0,130345E+04
route 9	0,367512E+05	0,366045E+05	0,733700E+02
route 10	0,302129E+05	0,300432E+05	0,848320E+02
route 11	0,223152E+05	0,222420E+05	0,365760E+02
route 12	0,110359E+06	0,109253E+06	0,553072E+03
route 13	0,319279E+05	0,317940E+05	0,669480E+02
route 14	0,247122E+05	0,244672E+05	0,122468E+03
toutes les routes	0,559198E+06	0,547401E+06	0,589873E+04

À ce sujet, nous désirons rappeler que le coût total réalisé par le transport sur une route sélectionnée correspond au coût total minimal que cette route puisse avoir.

Afin de vérifier les résultats de chaque fonction-objectif qui sont représentés dans le tableau 5.3, nous n'avons qu'à additionner les coûts de hazmat réalisés par le transport sur les liens qui forment chacune des routes. Pour ce faire, nous avons utilisé, encore une fois, le module 6.14 de STAN qui nous a permis d'obtenir tous les coûts de hazmat sur les différents liens du réseau routier (voir appendice B.3). À partir de l'appendice B.2, nous pouvons extraire les liens qui forment une route quelconque, chercher les coûts qui leur correspondent dans le tableau B.3 et ensuite faire leur somme. Afin d'éclaircir ce point, faisons, par exemple, un test avec la cinquième route.

Nous savons que la cinquième route correspond au chemin optimal de la cinquième demande et donc le volume de hazmat transporté tout au long de cette dernière est égal à 105 tonnes (voir tableau 4.3). Suite aux résultats représentés dans les appendices B.2 et B.3, nous remarquons que les liens qui forment celle-ci ainsi que leurs coûts sont comme suit:

TABLEAU 5.5

Exemple représentant les liens qui constituent la cinquième route avec les coûts totaux qui leur correspondent

Liens	coûts ($/t)
6 à 1765	0,00
1765 à 1779	48,99
1779 à 1752	9,78
1752 à 1746	42,07
1746 à 1751	39,34
1751 à 1743	74,74
1743 à 1780	56,65
1780 à 4	0,00

Une fois que nous faisons la somme des coûts, nous obtenons 271,57 ($/t). Puisque nous avons 105 tonnes transportées sur cette route, la valeur de la fonction-objectif sera donc égale à 271,57 × 105 = 28514,85 $. À noter que la différence de 0,47 entre cette valeur et celle du tableau 5.3 est simplement due à certains arrondissements effectués par STAN. De plus, si nous faisons la somme du coût de transport (égal à 27605,6 $) et du risque multiplié par deux* (égal à 454,86 × 2 = 909,72 $), nous obtiendrons la valeur de 28515,32 $.

Afin de compléter notre test avec les résultats obtenus par la cinquième route, nous devons également expliquer comment nous avons obtenu les valeurs des coûts de transport et du risque. Pour ce faire, nous n'avons qu'à prendre les mêmes liens que ceux du tableau 5.3, puisqu'il s'agit de la même route, identifier, à partir des appendices A.1 et A.2, leurs longueurs, leurs coûts unitaires et également les valeurs de risque qui leur sont associées. Ces données identifiées sont représentées dans le tableau suivant:

TABLEAU 5.6
Exemple représentant les liens qui constituent la cinquième route avec les longueurs, les coûts unitaires et les valeurs de risque qui leur correspondent

Liens	longueurs (Km)	coûts unitaires ($/Km/t)	risque unitaire ($/t)
6 à 1765	0,00	1,60	0,00
1765 à 1779	33,00	1,47	2,98
1779 à 1752	7,00	1,37	1,21
1752 à 1746	33,00	1,27	1,02
1746 à 1751	25,00	1,57	0,54
1751 à 1743	55,00	1,35	3,09
1743 à 1780	38,00	1,30	45,31
1780 à 4	0,00	1,67	0,00

* Au cours de l'exécution de l'affectation, nous avons donné au facteur de pondération de tous les coûts de retard une valeur égale à deux afin que STAN tienne compte, lors de la sélection des routes, du risque qui a généralement une valeur plus petite que le coût de transport.

Afin de calculer le coût de transport de la cinquième route, nous devons multiplier la longueur de chaque lien par son coût unitaire, faire leur somme et ensuite multiplier le dernier résultat obtenu par le volume de hazmat transporté. Les étapes de toute cette opération sont comme suit:

$$\text{coût de transport} = (33\times1,47) + (7\times1,37) + (33\times1,27) + (25\times1,57) + (55\times1,35) + (38\times1,30)$$
$$= 262,91\times105$$
$$= 27605,6\ \$$$

De plus, pour calculer le risque de cette même route, nous allons multiplier la valeur du risque associée à chaque lien par le rapport du volume transporté sur le poids de véhicule plein, qui détermine le nombre de véhicules utilisés*, et ensuite faire la somme de toutes les valeurs obtenues. Nous allons donc procéder de la façon suivante:

$$\text{risque} = (2,98\times8,4) + (1,21\times8,4) + (1,02\times8,4) + (0,54\times8,4) + (3,09\times8,4) + (45,31\times8,4)$$
$$= 454,86\ \$$$

5.2.2 Sélection globale des routes

Si l'on essaie de vérifier également les trois derniers résultats qui sont représentés dans le tableau 5.3, ceux de toutes les routes sélectionnées simultanément, nous n'avons qu'à procéder de la même manière que dans le cas de la sélection individuelle. Afin d'éviter des étapes répétitives, nous avons décidé de représenter les valeurs de risque ainsi que les volumes de hazmat transportés sur les différents liens qui forment toutes les routes (voir appendice B.4).

---

* Nous rappelons que dans le cas de notre étude, nous avons fixé le poids de véhicule vide à 2,5 tonnes et sa charge maximale à 10 tonnes. D'ou le poids de véhicule plein est égal à 12,5 tonnes. Si l'on divise le volume du produit 1 transporté sur la cinquième route (105 tonnes) par cette dernière valeur, nous obtiendrons un nombre de véhicules équivalent de 8,4.

À partir des tableaux 5.2 et 5.7 des appendices B.2 et B.4, nous pouvons remarquer que les liens qui constituent les routes sélectionnées simultanément sont les mêmes que ceux des routes sélectionnées individuellement. De plus, le module 6.31 de STAN nous permet également de découvrir que les routes sont composées, dans les deux cas, de certains liens identiques (voir appendice B.5). D'ou nous pouvons parler d'une apparition des effets croisés qui sont dus à plusieurs flux de transport venant de plusieurs directions différentes. Les mêmes liens qui sont contenus dans plusieurs routes sont congestionnés du fait que plusieurs transports passent à travers eux. À cause de cette congestion, il y a une prolifération du volume de hazmat sur ces liens et donc un accroissement du risque imposé aux populations qui résident à proximité de ceux-ci (voir appendices B.2 et B.4). Par exemple, si l'on prend le lien reliant le noeud 1752 (Saint-Gabriel) et le noeud 1779 (Trois-rivières), on constate qu'au cours de la sélection globale de toutes les routes, le risque total sur ce lien est égal à 29,52, alors que pendant la sélection individuelle de la première route, il était égal à 6,78 (voir figure 5.2 de l'appendice B.6). Donc, il y a eu un accroissement de risque de 22,74.

Dans le but d'éviter cette prolifération du risque ou du moins la minimiser, nous pensons que nous sommes dans l'obligation d'utiliser une fonction de pénalité, représentant l'équité, qui pourra nous permettre de faire une répartition plus ou moins équitable des risques par rapport à tous les liens du réseau routier. La résolution de cette problématique sera traitée dans la section suivante, celle portant sur la deuxième affectation.

5.3 RÉSULTATS DE LA DEUXIÈME AFFECTATION DES DEMANDES

La présentation et l'analyse des deux sélections, individuelle et globale, des routes de la première affectation nous ont permis de dresser un cadre conceptuel, lequel décrit que le risque, imposé aux populations résidant à proximité des routes qui sont empruntées par le transport des matières dangereuses, se prolifère au cours de l'utilisation simultanée de ces routes. Les volumes des matières transportées sont de plus en plus importants à cause des

différents flux de transport venant de toutes les directions et donc les populations sont de plus en plus exposées aux dangers des accidents routiers.

En outre, étant donné la forte augmentation des risques sur certains segments de route, nous nous voyons obligés de répartir ces risques d'une manière plus ou moins équitable. Pour ce faire, nous avons intégré, tel que mentionné dans la section 4.4, une troisième fonction d'équité dans notre système et nous avons procédé par une deuxième affectation des demandes.

Après avoir fait la deuxième affectation concernant la sélection globale des routes, nous avons utilisé, encore une fois, le module 6.14 de STAN afin d'obtenir la nouvelle répartition des volumes et des risques sur les différents liens du réseau routier. Avant de présenter les résultats obtenus, nous désirons mentionner que nous avons fait plusieurs essais possibles tout en variant le nombre d'itérations; de même que nous avons changé les facteurs de pondération de la troisième fonction de coût (fonction d'équité) de notre système dans le but d'avoir les meilleurs résultats possibles. Il s'est avéré par la suite que ceux-ci sont obtenus au cours du cinquième essai avec six itérations et un facteur de pondération égal à 4 (voir tableau 5.8).

TABLEAU 5.8
Représentation des valeurs de risque obtenues
lors de la deuxième affectation des demandes
(sélection globale)

essais d'affectation	risque maximal	somme des risques	moyenne des risques	différence des moyennes*
essai 1: 2 itérations	1851	11763	37,94	18,25
essai 2: 3 itérations	1073	7631	24,61	4,92
essai 3: 4 itérations	855	7518	24,25	4,56
essai 4: 5 itérations	677	6489,93	20,94	1,25
essai 5: 6 itérations	**616,71**	**6001**	**19,36**	**0,33**
essai 6: 7 itérations	667,94	5971	19,26	0,43
essai 7: 8 itérations	688,47	5796,86	18,81	0,88
essai 8: 9 itérations	705	5441,58	17,55	2,14
essai 9: 10 itérations	690	5591	18,04	1,65

* différence entre les deux moyennes du risque de la première et la deuxième affectations globales.

À partir du tableau 5.8, nous pouvons confirmer que les meilleurs résultats ont été obtenus lors de l'affectation qui correspond au cinquième essai. En d'autres termes, nous avons obtenu une valeur du risque moyen (= 19,36) qui est la plus proche de celle réalisée au cours de la première affectation (= 19,69) et donc la plus petite différence entre les deux moyennes (= 0,33). De plus, nous avons eu la plus petite valeur du risque maximal (= 616,71) par rapport aux autres valeurs maximales réalisées au cours des autres essais (affectations). À ce niveau, nous aimerions rajouter que la valeur du risque maximal était égale, au cours de la première affectation, à 1825,67 (voir tableau 5.7 de l'appendice B.4).

Si l'on essaie de vérifier s'il y a eu une amélioration au niveau de la répartition des valeurs de risque sur les différents liens du réseau routier, on a qu'à procéder par une comparaison des résultats obtenus lors de la première et deuxième affectations, c'est-à-dire une comparaison des tableaux 5.7 et 5.9 des appendices B.4 et B.7.

Suite à cette comparaison, nous avons constaté que grâce à la deuxième affectation des demandes, qui est renforcée par une fonction de pénalité, nous avons réussi à distribuer les risques sur plusieurs liens du réseau routier. Le tableau 5.9 de l'appendice B.7 nous montre nettement cette nouvelle distribution.

Étant donné que notre réseau routier est constitué de 310 liens, nous ne pouvons pas énumérer toutes les différences entre la première et la deuxième affectations. Toutefois, nous pouvons procéder par des comparaisons entre certains ensembles de liens. Par exemple, si nous analysons les résultats de l'ensemble commençant du lien 1749-1750 jusqu'au lien 1760-1791, nous pouvons constater que lors de la première affectation nous n'avions que 10 liens qui étaient empruntés par le transport, alors que pendant la deuxième affectation le nombre de liens utilisés passe à 24. De plus, la valeur du risque maximal sur cet ensemble de liens est passée de 447,41 à 158,57. Si nous voulons déterminer d'autres différences, nous pouvons poursuivre notre analyse avec les ensembles de liens suivants: du lien 1708-1746 au lien 1712-1780, du lien 1738-1747 au lien 1745-1708 et également du lien 1763-1764 au lien 1773-1716. À partir de ces exemples, nous pouvons confirmer que les risques

ont nettement diminué sur certains liens du réseau routier. Cependant, ils ont accru sur d'autres sans pour autant atteindre une distribution équitable (voir figure 5.3 de l'appendice B.8).

La figure 5.3 reflète un bon exemple qui démontre les différences entre la première répartition (série 1) et la deuxième répartition (série 2) des risques sur les liens allant de 1738-1751 à 1745-1708. À partir de celle-ci, nous constatons que des valeurs de risque très élevées, telles que 1825,67, 706,84 et 425,95 qui sont associées aux liens 1740-1777, 1743-1780 et 1745-1708, ont nettement diminué pour devenir égales à 513,93, 78,13 et 76,05, respectivement. De plus, d'autres risques dont leurs valeurs étaient nulles, comme ceux associés aux liens 1738-1790, 1739-1725, etc., ont augmenté pour devenir supérieurs à 0, mais sans qu'ils soient plus ou moins égaux. D'ou nous aurons besoin d'une troisième affectation des demandes.

5.4 RÉSULTATS DE LA TROISIÈME AFFECTATION DES DEMANDES

Après avoir présenté et analysé les résultats qui sont obtenus par la deuxième affectation des demandes, nous avons constaté que l'on a besoin de faire une autre affectation afin de réaliser une meilleure distribution des risques. Pour ce faire, nous devons d'abord remplacer dans la fonction d'équité la valeur de risque moyen (= 19,69), réalisée lors de la première affectation, par celle qui est obtenue avec la deuxième affectation. Telle qu'indiquée sur le tableau 5.8, la valeur de celle-ci est égale à 19,36.

Une fois que l'on a fait la troisième affectation, nous nous sommes rendus compte que les résultats obtenus sont presque identiques à ceux de la deuxième affectation. Cette quasi-ressemblance des résultats peut être confirmée par une comparaison des tableaux 5.9 et 5.10 des appendices B.7 et B.9. Si l'on calcule les valeurs du risque moyen, du risque maximal et de la somme des risques, nous obtiendrons 19,36, 616,83 et 6001,79, respectivement. À partir de ces valeurs, nous constatons qu'elles sont presque identiques à celles de la deuxième affectation, à savoir 19,69, 616,71 et 6001,00. À ce niveau, nous

pouvons rajouter que nous avons réussi à atteindre la valeur du risque moyen (= 19,36), mais sans pour autant, encore une fois, réaliser une distribution équitable des risques. À partir des tableaux 5.9 et 5.10, nous pouvons constater que les liens des routes qui ont été utilisés par le transport de hazmat lors de la deuxième affectation des demandes demeurent toujours les mêmes au cours de la dernière affectation. De plus, les risques de transport qui sont imposés aux populations qui résident à proximité de certains liens ont juste varié de quelques unités après la virgule. D'une manière générale, cette variation est située ente 0,01 et 0,15. Si non, d'autres valeurs de risque n'ont subi aucun changement (voir figure 5.4 de l'appendice B.10).

La figure 5.4 nous confirme que les variations en ce qui concerne les risques associés aux liens allant de 1738-1751 à 1745-1708 sont très minimes. Elles sont tellement faibles que nous n'arrivons même pas à distinguer les différences entre la deuxième et troisième affectations des demandes. Cette distinction approuve l'idée qui stipule que l'équité, définie dans le domaine du transport des matières dangereuses par une distribution équitable des risques sur les différentes routes utilisées dans un réseau routier, est de nature un critère que nous ne pouvons pas modélisé en fonction du coût et du risque. Nous savons pertinemment que notre façon de faire ne nous a pas permis d'atteindre une équité parfaite, mais nous avons réussi, tout de même, à réaliser une amélioration. Nous sommes persuadés que notre méthode est la meilleure que nous puissions utiliser avec l'outil d'aide à la décision « STAN ».

Après l'obtention des résultats de la deuxième affectation des demandes, nous étions pratiquement persuadés que même avec une affectation supplémentaire, il n'y aurait pas une nette amélioration à l'égard de la répartition des risques sur les différents liens du réseau. Ceci parce que nous avions obtenu un risque moyen (=19,36) qui est très proche du précédent (=19,69). Si nous avons affecté une troisième fois les demandes, c'est parce que nous souhaitions atteindre la dernière valeur de risque moyen qui est égale à 19,36. De plus, nous tenions à mener cette étude jusqu'au bout afin de confirmer notre jugement.

Une fois arrivés à cette étape, nous remarquons que les premières démarches de notre méthodologie, à savoir les trois affectations des demandes, ont été entièrement achevées. Afin de répondre complètement à la question de notre problématique, nous devons faire une comparaison des résultats obtenus lors de la première affectation des demandes individuellement et ceux de la troisième affectation des demandes simultanément.

5.5 COMPARAISON DES RÉSULTATS DES DEUX SCÉNARIOS

Avant de faire une comparaison des résultats des deux scénarios, nous aimerions rappeler que nous avons réussi, au cours de l'affectation des demandes dans le premier et deuxième scénarios, à déterminer toutes les routes utilisées aux fins du transport de hazmat (voir appendices B.2 et B.11). Nous avons également obtenu les volumes des matières transportées sur les différents liens constituant ces routes ainsi que les risques imposés par le transport sur les populations qui sont situées à proximité de ceux-ci

Une fois que nous avons affecté les demandes individuellement, lors du premier scénario, nous n'avions aucune idée sur la détermination des effets croisés. Ceci est dû naturellement au fait que les 14 routes qui correspondent à leurs demandes respectives ont été sélectionnées individuellement. De ce fait, même si certains liens appartenaient à plusieurs routes, il nous était difficile de les déterminer. De plus, même si nous pouvions le faire, ce serait d'une manière imparfaite puisque à cette étape nous n'avions pas encore utilisé la fonction d'équité. À ce niveau, nous aimerions rappeler que l'élément principal de l'analyse de transport des matières dangereuses correspond à la combinaison des trois critères qui sont le coût, le risque et l'équité.

Les résultats concernant le deuxième scénario nous ont permis de confirmer l'apparition des effets croisés. En effet, tel que mentionné auparavant, lors de l'affectation de toutes les demandes simultanément, nous avons réussi à obtenir les volumes des matières transportées sur les liens utilisés par plusieurs routes.

Afin de compléter l'analyse de l'approximation des effets croisés, nous trouvons que nous sommes dans l'obligation de faire une comparaison des résultats obtenus lors des deux scénarios.

Grâce au module 6.31 de STAN, nous avons déterminé les routes qui correspondent aux 14 demandes. C'est cette détermination qui nous a permis de savoir quels sont les volumes transportés sur un même lien quelconque qui est partagé par plusieurs routes. Encore une fois, du fait du nombre élevé de pages (1 pour chaque demande), nous avons décidé de ne pas annexer tous les tableaux. Par contre, nous avons pris la décision d'annexer un modèle (voir appendice B.12) et rassembler toutes les routes dans un seul tableau (voir tableau 5.11 de l'appendice B.11) où chacune est représentée avec sa distance, le volume transporté sur ces liens ainsi que les valeurs de risque qui leur sont associées. Par exemple, à partir de ce dernier tableau, si l'on prend le lien reliant les noeuds 1708 et 1711, on remarque que les volumes transportés sont comme suit: (1,74), (293), (2,17), (2,50), (2,39), (2,61), (2,28) et (1,85) tonnes respectivement pour la quatrième, sixième, septième, neuvième, dixième, onzième, treizième et la quatorzième demandes. Afin de justifier ce résultat, nous n'avons qu'à faire leur sommation et la comparer avec le volume total représenté dans le tableau 5.10 de l'appendice B.9. La comparaison révèle qu'il s'agit effectivement de la même quantité qui est égale à 18,47 tonnes.

À partir du tableau 5.11, nous constatons que chaque demande de matières dangereuses se fait tout en utilisant sept routes, alors qu'au cours de la première affectation des demandes individuellement, chaque transport correspondant à une demande complète utilisait une seule route. Si le nombre de routes a proliféré par rapport à chaque demande, c'est parce que nous avons incité les risques à se répartir sur tous les liens du réseau. De cette façon, nous avons diminué les quantités transportées sur certains liens et les avons augmenté sur d'autres. Cette répartition n'a eu aucun effet sur le volume total devant être transporté d'une origine à une destination précises. Par exemple, à partir du tableau 5.2 de l'appendice B.2, nous pouvons remarquer que pour la première demande, 70 tonnes de matières ont été transportées de l'origine 2 à la destination 8. Le tableau 5.11 nous confirme

également ce résultat comme suit: (13,48), (1,52), (6,26), (5,10), (18,18), (19,24) et (6,22) tonnes ont été transportées respectivement sur les première, deuxième, troisième, quatrième, cinquième, sixième et septième routes de la première demande affectée simultanément avec les treize autres.

Par le fait que nous avons réussi à répartir les risques sur plusieurs liens de notre réseau routier, les risques totaux, correspondant aux routes sélectionnées lors de la première affectation des demandes individuellement, ont changé une fois que nous avons affecté toutes les demandes simultanément. Effectivement, encore une fois, les tableaux 5.2 et 5.11 nous confirment cette constatation. Si nous faisons, par exemple, une comparaison entre les résultats des risques obtenus, lors des deux scénarios, par les routes qui correspondent à la cinquième demande, nous constaterons que le risque total dans le premier scénario est égal à 1665,70, alors que celui du deuxième scénario est égal à 1621,70. Celui-ci est réparti de la manière suivante: (217,82), (39,98), (255,67), (186,88), (354,74), (376,46) et (190,15), respectivement pour la première, deuxième, troisième, quatrième, cinquième, sixième et la septième route de la quatrième demande affectée simultanément avec les treize autres. Nous remarquons donc que le risque total a diminué d'une valeur égale à 44 malgré le fait que nous avons sept routes. En fait, cette constatation ne s'applique pas à tous les cas. Le tableau suivant nous montre clairement les différences entre les risques totaux réalisés au cours de l'affectation de toutes les demandes dans les deux scénarios.

TABLEAU 5.12

Représentation des valeurs des risques totaux
réalisées au cours de l'affectation de toutes les demandes
(sélections individuelle et globale)

demande	risque total (premier scénario)	risque total (deuxième scénario)
1	927,86	837,99
2	26,30	135,90
3	432,29	446,93
4	1665,70	1621,70
5	454,86	221,53
6	69,55	116,61
7	41,44	73,26
8	1303,45	1229,62
9	73,37	118,50
10	84,83	232,81
11	36,57	70,05
12	553,07	434,42
13	66,95	109,57
14	122,47	108,68

À partir du tableau 5.12, nous pouvons remarquer que les risques totaux diminuent ou augmentent dans le deuxième scénario selon chaque demande. En d'autres termes, ces variations dépendent de plusieurs facteurs tels que les distances séparant les origines des destinations, les longueurs des liens formant les différentes routes, les nombres représentant les populations qui sont situées à proximité de ces derniers, les quantités transportées, les risques unitaires et également les coûts unitaires de transport. L'outil d'aide à la décision a

fourni tous ces résultats en se basant sur la combinaison de tous ces éléments intégrés dans les critères d'analyse de notre étude.

Les tableaux 5.2 et 5.11 nous permettent également de faire ressortir une autre constatation importante; celle qui concerne les distances des routes sélectionnées. Si nous faisons une comparaison entre elles, nous remarquerons que celles du premier scénario correspondent aux distances les plus courtes; et donc ces routes sont similaires aux chemins les plus courts. De plus, certaines de ces routes ont également été utilisées lors de l'affectation de toutes les demandes simultanément. À titre d'exemple, la première, quatrième, cinquième et la septième route de la demande 7, affectée simultanément avec les autres demandes, sont toutes semblables au chemin le plus court de cette même demande affectée auparavant individuellement. De telles ressemblances apparaissent aussi avec les demandes 3, 5, 6, 10, 11, 12, 13 et 14. Ainsi, les liens qui forment ces routes utilisées maintes fois par plusieurs transports sont ceux qui sont les plus congestionnés et qui comportent donc souvent le plus de danger, surtout si les volumes transportés sont très élevés.

5.6 CONCLUSION

La présentation et l'analyse de tous ces résultats, décrites dans les différentes sections du présent chapitre, nous permettent finalement de conclure que nous avons déterminé une approximation des effets croisés qui ont apparu lors de la sélection de toutes les routes simultanément.

À travers cette détermination, nous pouvons remarquer que lorsque nous ne considérons pas l'équité lors de plusieurs affectations de demandes simultanées, nous obtenons les mêmes chemins par rapport à ceux réalisés lors des affectations individuelles. Par contre, si nous tenons compte du facteur d'équité, les routes ne sont plus les mêmes.

Au cours de cette étude, nous avons clairement constaté que nous avons réussi à bien adapter notre problématique à l'outil d'aide à la décision utilisé aux fins de notre recherche. Nous n'avons pas développé un modèle, mais nous avons réussi à résoudre notre problématique par l'utilisation d'un outil déjà existant. Il est donc évident que ce serait souhaitable d'intégrer l'équité de façon parfaite dans un modèle.

Nous rajoutons que malgré ces résultats très concluants, il existe une certaine limite à notre recherche. En effet, même si nous avons réussi à faire une répartition des risques sur la majorité des liens du réseau routier, celle-ci s'est faite sans pour autant respecter le principe de l'équité qui présume que les populations, résidant à proximité des liens formant les routes empruntées par le transport des matières dangereuses, doivent subir les mêmes conséquences.

On remarque donc que notre cas n'est pas conforme à ce principe. D'où nous aurons besoin de faire des recommandations afin de ne pas privilégier certaines populations au détriment des autres.

Tel que nous l'avons cité dans la section 2.3, accabler un petit segment de la société de risques associés aux matières dangereuses alors qu'une grande partie de la population récolte les bénéfices des activités que celles-ci comportent, n'est pas du tout conforme aux principes de l'équité. À partir de cette idée, nous nous voyons obligé de faire des recommandations au sujet de la distribution équitable des risques.

Dans la section 2.3, celle portant sur l'équité. nous avons passé en revue un article, parmi d'autres, qui traite de l'égalité dans la localisation des sites. Dans celui-ci, Berman et Kaplan (1990) proposent un plan de transfert de paie afin de réaliser une distribution équitable des bénéfices associés à un site désirable. Nous pensons que nous pouvons appliquer cette proposition dans le cas de la sélection des routes utilisées par le transport des matières dangereuses.

Dans cet article, les auteurs suggèrent que les receveurs de service payeront des taxes ou recevront des indemnités selon la distance qui les sépare du site. Dans notre cas, nous pourrons, dans un premier temps, fixer des normes en ce qui concerne les quantités devant être transportées sur les liens très congestionnés et donc comportant des dangers trop élevés qui sont imposés aux populations avoisinantes. Ensuite, dans un deuxième temps, nous imposerons des taxes aux transporteurs qui ne respecteront pas ces normes. C'est-à-dire, ceux qui dépasseront les quantités réglementées. De cette façon, les taxes payées pourront être versées sous forme d'indemnités aux populations imposées à des risques trop élevés par rapport à la moyenne du risque dans tout le réseau routier.

De plus, on pourra même imposer des taxes supplémentaires aux populations privilégiées, auxquelles moins de risques sont imposés. D'après Berman et Kaplan, le fait de minimiser la distance entre l'emplacement d'un site et un utilisateur, on maximise également les bénéfices totaux de celui-ci. Ceci est également vrai dans notre cas puisque le fait de minimiser le risque imposé à certaines populations, on maximise leur protection contre tout danger des accidents routiers pouvant être causés par un (des) transport(s) des matières dangereuses. Ces mêmes auteurs affirment que dans le cas où le transfert de payements ne peut pas être implanté, l'écart absolu des distances sera une mesure appropriée à l'inégalité. Cette affirmation s'applique aussi à notre cas. En d'autres termes, si nous n'appliquons pas ces recommandations suggérées, l'écart qui existe entre les différents risques sera également considéré comme une mesure adaptée à l'iniquité.

Nous pensons réellement que ces recommandations seront très bénéfiques à l'égard du transport des matières dangereuses. D'une part, elles pourront contribuer à la protection des populations menacées par les dangers de ces dernières puisque leurs transporteurs se verront obligés de s'éloigner le plus possible des populations afin d'éviter des taxes qui risquent d'être très élevées. D'autre part, elles permettront de rendre la distribution inéquitable des risques plus ou moins équitable par une compensation avec des indemnités.

Finalement, nous pourrons rajouter que l'implication importante de tous ces résultats est que la régularisation de la sélection des routes doit être non seulement basée sur la recherche de la route la moins risquée, mais également sur des améliorations sécuritaires de celle-ci. De ce fait, nous pouvons conclure que les régulateurs doivent collaborer encore plus avec les chercheurs qui oeuvrent dans le domaine du transport des matières dangereuses. De cette façon, la minimisation du risque, qui est souvent considérée comme un objectif unique, sera beaucoup plus allégée et donc plus facile à réaliser.

CONCLUSION

Compte tenu du fait qu'elles sont extrêmement nuisibles, les matières dangereuses, tels que les explosifs, les gaz inflammables liquides et solides, les matières radioactives, etc., imposent des risques à l'humanité, aux animaux et à l'environnement. Toutefois, leur utilisation au sein de notre société est essentielle à la vie humaine.

Le transport des matières dangereuses s'est accru de façon importante au cours des quatre dernières décennies (Erkut, 1995). Dans ce contexte, même si les probabilités des accidents routiers sont généralement faibles, les populations qui se trouvent situées tout près des routes empruntées par le transport de ces matières sont de plus en plus exposées aux risques de leurs dangers.

Afin de pouvoir réduire ceux-ci, nous devons alors tenir compte, lors de la résolution des problèmes de sélection des routes, du risque imposé aux individus, mais également de sa distribution spatiale, connue sous le nom de l'équité, et évidemment du coût. La combinaison de ces trois critères constitue l'élément principal d'une analyse de transport des matières dangereuses.

Pendant les utilisations simultanées des routes, les risques vont accroître sur certains segments de route qui se congestionnent à cause des effets croisés rencontrés pendant les transports. Cette congestion est due à la présence de plusieurs flux qui peuvent passer à travers des mêmes segments de route. Nous devons alors porter attention à l'accroissement des différents risques et leur distribution spatiale.

Ainsi, l'objectif ultime de notre étude était de faire une comparaison des sélections des routes, individuellement et simultanément, afin de déterminer l'écart qui existe entre les

deux et donc faire une approximation de ces effets croisés. Le réseau routier que l'on a utilisé est celui de la province de Québec.

La problématique générale de la logistique des matières dangereuses, décrite dans la première partie du premier chapitre, nous a permis de constater que les problèmes qui sont reliés à ces matières sont beaucoup plus complexes que ceux des matières ordinaires. Les facteurs essentiels, qui leur sont associés, rendent difficile leurs résolutions.

En outre, nous avons remarqué que plusieurs questions ont été soulevées dans la littérature. Par exemple, comment peut-on évaluer le risque? Doit-on se baser sur la probabilité d'un accident ou sur ses conséquences ou encore sur les deux? Comment peut-on évaluer l'équité? En évaluant la population imposée au risque, doit-on utiliser le nombre de personnes qui résident à proximité de la route? Si oui, quelle sera donc la distance qui les sépare? Afin de répondre à ces questions, nous avons donné un aperçu détaillé de tous les critères d'analyse dans le deuxième chapitre.

Dans la deuxième partie du premier chapitre, nous avons également présenté la problématique spécifique de ce mémoire qui porte sur la détermination de l'approximation des effets croisés apparus lors des sélections simultanées des routes.

Dans le deuxième chapitre qui décrit les critères d'analyse, nous avons passé en revue tous les éléments conceptuels entourant la notion de la logistique des matières dangereuses. Ces éléments sont : les notions sur l'évaluation des risques imposés au public par les activités potentiellement dangereuses, les approches dominantes du calcul d'équité dans la distribution spatiale du risque et les difficultés de l'estimation des coûts engendrés par la gestion des matières dangereuses et la planification de leur transport.

La présentation et l'analyse de toutes ces notions théoriques nous ont permis de dresser un cadre conceptuel, lequel décrit qu'il n'existe aucune entente parmi les auteurs à propos de la façon dont le risque et l'équité doivent être calculés.

Suite à l'explication des notions théoriques et des caractéristiques qui forment l'élément principal de l'analyse du transport des matières dangereuses, nous avons présenté, dans le troisième chapitre du présent mémoire, certains modèles d'analyse, notamment des modèles mathématiques à plusieurs objectifs, et systèmes d'aide à la décision afin de montrer le rôle primordial de chacun d'entre eux.

Nous avons constaté que plusieurs articles traitent des problématiques telles que l'évaluation des risques de transport de différents types de matières dangereuses, les stratégies d'évacuation de la population lors d'une catastrophe, les approches théoriques de localisation des sites nucléaires ou encore les sources d'information et de données pour l'analyse des accidents de transport. Les articles les plus récents sont ceux qui portent sur les modèles mathématiques à plusieurs objectifs. À partir de cette revue, nous avons conclu qu'aucun de ces articles n'est dans la mesure d'expliquer un accroissement des risques et de faire une approximation des effets croisés.

Afin de répondre à cette question, nous avons tout d'abord, dans le quatrième chapitre qui porte sur la méthodologie de notre recherche, présenté toutes les étapes nous servant à la réalisation de notre étude. De plus, nous avons présenté et expliqué l'outil d'aide à la décision utilisé à cette fin. Les étapes retenues sont: les critères d'analyse choisis pour notre recherche, le plan d'analyse qui explique comment nous avons abordé la question de la problématique que l'on tente de résoudre, la description de l'outil d'aide à la décision (STAN) et finalement l'adaptation de la problématique à l'outil d'aide à la décision. Le plan d'analyse est composé de trois phases. La première correspond à l'affectation de 14 demandes, individuellement et simultanément, afin de déterminer les routes tout en minimisant le coût de transport et le risque. la deuxième phase correspond à une deuxième affectation de toutes les demandes simultanément pour pouvoir déterminer, encore une fois, les routes tout en minimisant le coût, le risque et l'équité. Finalement, la dernière phase correspond également à une autre affectation de toutes les demandes simultanément.

C'est dans le cinquième chapitre que nous avons dévoilé les résultats concernant toutes les affectations ainsi que leurs comparaisons. L'analyse des résultats de la première affectation nous a permis de confirmer que les routes qui ont été sélectionnées simultanément sont identiques à celles sélectionnées individuellement. De plus, plusieurs liens identiques sont contenus dans certaines routes. Grâce à cette constatation, nous avons pu conclure qu'il y a eu une apparition des effets croisés. À cause de ces liens qui sont contenus dans plusieurs routes, les volumes des matières transportées ainsi que les risques imposés aux différentes populations ont augmenté. Les résultats contenus dans les tableaux 5.2 et 5.4 confirment notre constatation. En effet, si l'on prend, par exemple, le lien qui relie Saint-Gabriel à Trois rivières, on constate que la quantité des matières transportées sur celui-ci est passée de 70 tonnes, lors de la sélection individuelle de la première route, à 305 tonnes pendant la sélection globale de toutes les routes. De même que le risque imposé à la population qui réside à proximité de ce dernier lien a proliféré pour passer de 6, 78 à 29,52, respectivement.

Cependant, étant donné la répartition inéquitable des risques sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec, nous avons décidé de faire une deuxième affectation des 14 demandes simultanément. Celle-ci a été renforcée par une fonction d'équité dans laquelle nous avons intégré le risque moyen (= 19,69) calculé à partir de la première affectation. Les résultats obtenus par cette deuxième affectation nous ont permis de remarquer une certaine répartition des risques sur plusieurs liens du réseau. Les tableau 5.7 et 5.9 montrent nettement que les risques ont diminué sur certains liens et augmenté sur d'autres, mais sans pour autant se répartir d'une manière équitable. Par conséquent, nous étions obligés de faire une troisième affectation dans le but d'essayer d'atteindre une meilleure distribution des risques.

Au cours de la troisième affectation des demandes, nous avons remplacé la moyenne du risque obtenue par la première affectation (= 19,69) par celle correspondant à la deuxième (= 19,36). Encore une fois, les résultats de la dernière affectation des demandes nous ont permis de conclure qu'on a atteint la meilleure distribution des risques; ceci parce que le

risque moyen réalisé cette fois-ci est égal à celui de la deuxième affectation (= 19,36). Cependant, cette répartition est quasi-identique à celle d'auparavant. La figure 5.4 nous confirme que les variations concernant les risques associés aux liens allant de 1738-1751 à 1745-1708 sont tellement minimes que nous n'arrivons même pas à distinguer les différences entre les deuxième et troisième affectations des demandes.

Les comparaisons faites entre les résultats du premier scénario, dans lequel nous avons affecté les demandes individuellement, et ceux du deuxième, où nous avons procédé par une troisième affectation des demandes simultanément, nous ont permis de constater que dans le deuxième scénario chaque demande des matières transportées se fait en utilisant sept routes, alors que dans le premier nous avons obtenu une route pour chaque demande. Nous avons conclu que ceci était dû évidemment au fait que nous avons incité les risques à se répartir sur tous les liens du réseau.

Suite à cette répartition, les risques totaux correspondant aux différentes routes, sélectionnées simultanément, ainsi que leurs distances ont changé par rapport à ceux des routes sélectionnées individuellement. Les tableaux 5.2 et 5.11 nous confirment cette constatation. Nous avons conclu, encore une fois, que ces variations dépendent de la combinaison de plusieurs facteurs, tels que les distances séparant les origines des destinations, les longueurs des liens formant les différentes routes, les nombres représentant les populations qui sont situées à proximité de ces derniers, les quantités transportées, les risques unitaires et également les coûts unitaires de transport, qui sont intégrés dans les fonctions représentant les critères d'analyse utilisés dans cette recherche.

Les tableaux 5.2 et 5.11 nous permettent également de constater que les routes du premier scénario correspondent aux chemins les plus courts. Certaines d'entre elles ont été identifiées également dans le deuxième scénario. Ainsi, les liens qui forment ces routes répétitives sont ceux qui sont les plus utilisés par les transports et qui imposent donc souvent le plus de risque aux populations avoisinantes.

À travers cette étude, nous pouvons également remarquer que lorsque nous ne considérons pas l'équité lors de plusieurs affectations de demandes simultanées, nous obtenons les mêmes routes par rapport à celles réalisées lors des affectations individuelles. Par contre, si nous tenons compte du facteur d'équité, les routes ne sont plus les mêmes.

De façon générale, nous pouvons dire que nous avons réussi à bien adapter notre problématique à l'outil d'aide à la décision utilisé aux fins de notre recherche. Nous n'avons pas développé un modèle spécifique, mais nous avons réussi à développé une méthode qui nous a permis de résoudre notre problématique par l'utilisation d'un outil déjà existant. Il est donc évident que ce serait souhaitable d'intégrer l'équité de façon parfaite dans un modèle.

Malgré ces résultats très concluants, qui démontrent que nous avons réussi à faire une approximation des effets croisés, il existe une certaine limite à notre recherche. Celle-ci s'explique par le fait que nous n'avons pas réalisé une distribution équitable des risques sur la totalité des liens du réseau routier de la province de Québec. On remarque donc que certaines populations sont moins imposées aux risques du transport au détriment des autres. D'où nous recommandons vivement d'imposer des taxes aux populations privilégiées et surtout aux transporteurs qui dépasseront les quantités réglementées devant être transportées sur les liens des routes qui sont les plus congestionnés. De cette façon, les populations qui encourent plus de risques seront indemnisées.

APPENDICE A

FIGURES ET TABLEAUX DU CHAPITRE IV

A.1 Coûts unitaires de transport sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec 145

A.2 Calcul du risque unitaire sur les différents liens du réseau routier de la la province de Québec 152

A.3 Représentation totale et partielle du réseau routier de la province de Québec dans STAN 159

A.4 Noeuds du réseau routier avec les villes et villages qui leur correspondent ... 161

TABLEAU 4.3

Coûts unitaires de transport sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec

noeud i	noeud j	coût unitaire en $ (par tonne/Km)
1	1708	1,50
2	1745	1,25
3	1764	1,60
4	1780	1,67
5	1781	1,25
6	1765	1,60
7	1779	1,70
8	1777	1,60
9	1778	1,55
10	1744	1,35
11	1751	1,45
12	1785	1,35
13	1771	1,37
14	1738	1,30
15	1760	1,35
1760	15	1,35
1700	1509	1,50
1700	1734	1,65
1700	1776	1,20
1701	1509	1,30
1701	1735	1,37
1702	1535	1,70
1702	1733	1,47
1702	1776	1,35
1703	1754	1,55
1703	1777	1,50
1704	1733	1,47
1704	1738	1,55
1705	1738	1,55
1705	1744	1,35
1705	1748	1,55
1706	1707	1,55
1706	1748	1,55
1707	1706	1,55
1707	1749	1,37
1708	1	1,50
1708	1710	1,67
1708	1711	1,27
1708	1743	1,50

1708	1745	1,25
1708	1746	1,47
1709	1710	1,30
1709	1745	1,25
1709	1800	1,60
1710	1708	1,67
1710	1709	1,30
1710	1711	1,35
1710	1745	1,25
1710	1800	1,60
1711	1708	1,60
1711	1710	1,35
1711	1712	1,60
1711	1743	1,35
1711	1763	1,60
1711	1798	1,70
1712	1711	1,60
1712	1750	1,37
1712	1780	1,50
1713	1716	1,35
1713	1769	1,45
1713	1782	1,60
1713	2100	1,20
1714	1770	1,60
1714	1771	1,37
1715	1788	1,47
1715	1798	1,60
1715	1800	1,30
1716	1713	1,30
1716	1769	1,75
1716	1770	1,25
1716	1773	1,30
1716	1796	1,30
1717	1720	1,37
1717	1762	1,70
1718	1761	1,45
1718	1762	1,70
1718	2145	1,55
1718	2148	1,65
1785	12	1,35
1720	1717	1,37
1720	1721	1,20
1720	1761	1,60
1720	1768	1,20
1720	1783	1,20
1721	1720	1,35
1721	1722	1,45

1721	1783	1,25
1722	1721	1,45
1722	1755	1,40
1722	1785	1,30
1724	1741	1,60
1724	1785	1,60
1724	1803	1,60
1738	14	1,30
1725	1739	1,30
1725	1777	1,50
1725	1803	1,60
1727	1741	1,55
1727	1756	1,20
1710	1737	1,25
1729	1784	1,35
1729	1535	1,40
1732	1733	1,27
1732	1702	1,47
1733	1704	1,47
1733	1732	1,27
1733	1700	1,65
1734	1735	1,37
1734	1701	1,37
1735	1734	1,37
1735	1737	1,33
1736	1742	1,38
1736	1729	1,25
1737	1736	1,33
1737	1704	1,55
1738	1705	1,55
1738	1747	1,60
1738	1751	1,45
1738	1752	1,40
1738	1790	1,35
1738	1725	1,35
1739	1740	1,57
1739	1741	1,35
1739	1777	1,80
1740	1739	1,57
1740	1777	1,50
1740	1791	1,55
1741	1724	1,60
1741	1727	1,30
1741	1739	1,35
1742	1736	1,38
1742	1777	1,90
1743	1708	1,50

1743	1711	1,35
1743	1751	1,45
1743	1780	1,30
1744	10	1,35
1744	1705	1,35
1744	1749	1,27
1744	1751	1,47
1744	1780	1,47
1745	2	1,25
1745	1708	1,50
1745	1709	1,20
1745	1710	1,25
1745	1752	1,40
1746	1708	1,47
1746	1747	1,50
1746	1751	1,57
1746	1752	1,50
1747	1738	1,55
1747	1746	1,27
1747	1751	1,65
1748	1705	1,55
1748	1706	1,55
1748	1749	1,27
1749	1707	1,37
1749	1744	1,35
1749	1748	1,55
1749	1750	1,37
1750	1712	1,70
1750	1749	1,27
1750	1780	1,55
1751	11	1,45
1751	1738	1,55
1751	1743	1,35
1751	1744	1,47
1751	1746	1,57
1751	1747	1,65
1752	1738	1,55
1752	1745	1,25
1752	1746	1,27
1752	1779	1,70
1754	1703	1,55
1754	1789	1,50
1755	1722	1,40
1755	1758	1,75
1755	1783	1,55
1756	1727	1,20
1756	1765	1,60

1757	1759	1,40
1757	1765	1,60
1757	1779	1,70
1757	1791	1,57
1758	1755	1,75
1758	1773	1,35
1758	1774	1,30
1759	1757	1,50
1759	1760	1,70
1759	1765	1,55
1760	15	1,35
1760	1759	1,70
1760	1791	1,60
1761	1718	1,45
1761	1720	1,35
1761	1783	1,55
1762	1717	1,55
1762	1718	1,55
1763	1711	1,60
1763	1764	1,60
1764	3	1,60
1764	1763	1,60
1764	1798	1,60
1765	6	1,60
1765	1756	1,60
1765	1757	1,40
1765	1759	1,55
1765	1779	1,47
1768	1720	1,35
1769	1713	1,45
1769	1716	1,75
1770	1714	1,70
1770	1716	1,25
1770	1794	1,70
1771	13	1,37
1771	1714	1,55
1771	1779	1,55
1771	1799	1,25
1772	1782	1,27
1772	2147	1,40
1772	2174	1,40
1773	1716	1,35
1773	1758	1,55
1773	1782	1,60
1774	1758	1,30
1774	1782	1,50
1775	1792	1,35

1775	2100	1,35
1775	2101	1,45
1776	1700	1,20
1776	1702	1,35
1777	8	1,60
1777	1703	1,50
1777	1725	1,50
1777	1739	1,80
1777	1740	1,50
1777	1742	1,90
1778	9	1,55
1778	1791	1,27
1779	7	1,70
1779	1752	1,37
1779	1757	1,37
1779	1765	1,47
1779	1771	1,37
1780	4	1,67
1780	1712	1,37
1780	1743	1,30
1780	1744	1,47
1780	1750	1,55
1781	5	1,25
1781	1788	1,47
1782	1713	1,60
1782	1772	1,27
1782	1773	1,60
1782	1774	1,50
1782	2226	1,35
1783	1720	1,20
1783	1721	1,25
1783	1755	1,60
1783	1761	1,60
1784	1729	1,35
1785	1722	1,30
1785	1724	1,60
1788	1715	1,35
1788	1781	1,25
1788	1795	1,50
1788	1799	1,55
1789	1754	1,60
1789	1791	1,60
1790	1738	1,35
1790	1791	1,75
1791	1740	1,55
1791	1757	1,35
1791	1760	1,60

1791	1778	1,35
1791	1789	1,60
1791	1790	1,75
1792	1793	1,55
1792	1795	1,55
1792	1797	1,55
1792	1775	1,55
1793	1792	1,35
1793	1796	1,85
1794	1770	1,55
1794	1796	1,35
1795	1788	1,47
1795	1792	1,45
1795	1796	1,35
1795	1798	1,60
1796	1716	1,30
1796	1793	1,85
1796	1794	1,70
1796	1795	1,35
1797	1798	1,65
1797	1792	1,55
1798	1711	1,70
1798	1715	1,60
1798	1764	1,60
1798	1795	1,60
1798	1797	1,65
1799	1771	1,25
1799	1788	1,55
1799	1794	1,80
1799	1800	1,75
1800	1709	1,60
1800	1710	1,60
1800	1715	1,30
1800	1799	1,75
1803	1724	1,60
1803	1725	1,60

TABLEAU 4.4
Calcul du risque unitaire sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec

noeud i	noeud j	probabilité d'accident sur le lien (par Km)	population qui réside à proximité du lien	distance du lien (en Km)	risque (ul_l) (par $/t)
1	1708	0,00006	8765	[1]0	0,00
2	1745	0,0001	517	0	0,00
3	1764	0,000025	17943	0	0,00
4	1780	0,00004	18345	0	0,00
5	1781	0,00005	800408	0	0,00
6	1765	0,000025	8637	0	0,00
7	1779	0,00002	18117	0	0,00
8	1777	0,00005	28200	0	0,00
9	1778	0,000002	159353	0	0,00
10	1744	0,0001	3014	0	0,00
11	1751	0,000075	625	0	0,00
12	1785	0,000025	1780	0	0,00
13	1771	0,000008	5000	0	0,00
14	1738	0,000025	8380	0	0,00
15	1760	0,00005	2325	0	0,00
1760	15	0,00005	2325	0	0,00
1700	1509	0,000065	2325	163	24,63
1700	1734	0,00008	2325	64	11,90
1700	1776	0,00003	2325	36	2,51
1701	1509	0,00015	500	319	23,90
1701	1735	0,0001	550	212	11,66
1702	1535	0,00008	525	117	4,91
1702	1733	0,0001	560	18	1,01
1702	1776	0,00005	2325	109	12,67
1703	1754	0,000025	565	32	0,45
1703	1777	0,00006	28200	147	248,72
1704	1733	0,0001	550	148	8,14
1704	1738	0,000075	575	13	0,56
1705	1738	0,000075	600	74	3,33
1705	1744	0,00004	620	96	2,38
1705	1748	0,000025	515	24	0,31
1706	1707	0,000025	575	78	1,12
1706	1748	0,000025	525	16	0,21
1707	1706	0,000025	575	78	1,12
1707	1749	0,000045	500	27	0,61
1708	1	0,00006	8765	0	0,00
1708	1710	0,0001	8765	43	37,68

[1] Cette distance est égale à 0 Km dans la mesure où le centroide 1 et le noeud 1708 correspondent géographiquement au même lieu (Drummondville). Ils sont représentés de cette façon sur le réseau afin de préserver toutes données associées au noeud 1708.

1708	1711	0,00015	8765	66	86,77
1708	1743	0,000085	8765	39	29,06
1708	1745	0,00015	8765	45	59,16
1708	1746	0,000145	8765	31	39,39
1709	1710	0,00007	570	55	2,20
1709	1745	0,000075	500	42	1,58
1709	1800	0,000008	500	90	0,36
1710	1708	0,0001	8765	43	37,68
1710	1709	0,00007	570	55	2,20
1710	1711	0,00004	550	33	0,73
1710	1745	0,00008	525	0	0,00
1710	1800	0,000065	520	26	0,88
1711	1708	0,00006	500	66	86,77
1711	1710	0,00004	550	33	0,73
1711	1712	0,00007	520	56	2,04
1711	1743	0,000008	535	73	0,31
1711	1763	0,00004	755	22	0,66
1711	1798	0,000006	17943	78	8,40
1712	1711	0,00007	520	56	2,04
1712	1750	0,00006	18345	29	31,90
1712	1780	0,00002	563	24	0,27
1713	1716	0,000008	500	32	0,13
1713	1769	0,000009	505	22	0,10
1713	1782	0,00006	560	121	4,07
1713	2100	0,00015	560	23	1,93
1714	1770	0,00008	5058	22	8,90
1714	1771	0,000008	5058	20	0,80
1715	1788	0,000008	800408	16	102,00
1715	1798	0,000006	17943	0	0,00
1715	1800	0,00006	530	0	0,00
1716	1713	0,00015	500	32	0,13
1716	1769	0,00014	515	19	1,40
1716	1770	0,00016	585	32	2,30
1716	1773	0,00015	500	187	14,00
1716	1796	0,00013	500	43	2,80
1717	1720	0,00012	1780	84	17,94
1717	1762	0,000009	500	30	0,14
1718	1761	0,00002	520	83	0,87
1718	1762	0,000009	500	70	0,32
1718	2145	0,000009	500	285	1,28
1718	2148	0,000009	505	101	0,45
1738	12	0,000025	1780	0	0,00
1720	1717	0,00012	1780	84	17,94
1720	1721	0,0001	1780	47	8,36
1720	1761	0,00002	1780	45	1,60
1720	1768	0,0001	1780	184	32,75
1720	1783	0,00003	515	63	0,97

1721	1720	0,000008	500	47	8,36
1721	1722	0,000008	500	31	0,12
1721	1783	0,00003	515	42	0,65
1722	1721	0,000008	500	31	0,12
1722	1755	0,000025	510	37	0,47
1722	1785	0,000045	520	318	7,44
1724	1741	0,00002	500	41	41,00
1724	1785	0,000035	510	234	4,17
1724	1803	0,000008	8380	45	3,02
1725	1739	0,000008	8380	19	1,27
1725	1777	0,00007	28200	55	108,51
1725	1803	0,000008	8380	90	6,03
1727	1741	0,000025	500	143	1,43
1727	1756	0,000055	585	97	3,12
1729	1737	0,000045	525	119	2,52
1729	1784	0,00008	500	63	2,86
1729	1535	0,00009	515	103	4,77
1732	1733	0,0001	560	26	1,45
1732	1702	0,0001	560	18	1,01
1733	1704	0,0001	550	148	8,14
1733	1732	0,0001	560	26	1,45
1733	1700	0,00008	2325	64	11,90
1734	1735	0,000075	520	90	3,51
1734	1701	0,0001	550	212	11,66
1735	1734	0,000075	520	90	3,51
1735	1737	0,000035	505	50	0,88
1736	1742	0,000045	535	193	4,64
1737	1729	0,000045	535	119	2,52
1737	1736	0,000035	505	50	0,88
1738	14	0,00004	8560	0	0,00
1738	1704	0,000075	575	13	0,56
1738	1705	0,000075	600	74	3,33
1738	1747	0,00002	625	91	1,14
1738	1751	0,0001	500	102	5,10
1738	1752	0,00006	517	129	4,00
1738	1790	0,000002	500	5	0,00
1739	1725	0,000008	500	19	1,27
1739	1740	0,000075	28200	76	160,74
1739	1741	0,00003	525	36	0,57
1739	1777	0,000065	28200	55	100,82
1740	1739	0,000075	28200	76	160,74
1740	1777	0,00005	28200	83	117,03
1740	1791	0,000003	28200	124	10,50
1741	1724	0,000008	50000	41	41
1741	1727	0,00002	500	143	1,43
1741	1739	0,00003	525	36	0,57
1742	1736	0,000045	535	193	4,64

1742	1777	0,000045	28200	122	154,82
1743	1708	0,000085	8765	39	29,06
1743	1711	0,000008	535	73	0,31
1743	1751	0,0001	563	55	3,09
1743	1780	0,000065	18345	38	45,31
1744	10	0,0001	3014	0	0,00
1744	1705	0,00004	620	96	2,38
1744	1749	0,000008	3014	26	0,63
1744	1751	0,000075	625	67	3,14
1744	1780	0,000085	18345	57	88,88
1745	2	0,0001	517	0	0,00
1745	1708	0,0006	5170	45	59,16
1745	1709	0,00006	517	42	1,59
1745	1710	0,00008	525	0	0,00
1745	1752	0,00006	517	44	1,37
1746	1708	0,000145	8765	31	39,39
1746	1747	0,0002	6250	23	15,11
1746	1751	0,000035	625	25	0,54
1746	1752	0,00006	517	33	1,02
1747	1738	0,000075	500	91	1,14
1747	1746	0,000075	8765	23	15,11
1747	1751	0,000055	625	21	0,72
1748	1705	0,000025	515	24	0,31
1748	1706	0,000025	525	16	0,21
1748	1749	0,000045	500	74	1,67
1749	1707	0,000045	500	27	0,61
1749	1744	0,000025	500	26	0,63
1749	1748	0,000025	500	74	1,67
1749	1750	0,00006	18345	66	72,64
1750	1712	0,0002	5000	29	31,90
1750	1749	0,0005	8565	66	72,64
1750	1780	0,000055	18345	5	5,00
1751	11	0,000075	625	0	0,00
1751	1738	0,00002	625	102	5,10
1751	1743	0,00002	625	55	3,09
1751	1744	0,000075	625	67	3,14
1751	1746	0,000035	625	25	0,54
1751	1747	0,000055	625	21	0,72
1752	1738	0,00002	500	129	4,00
1752	1745	0,00002	500	44	1,37
1752	1746	0,00002	8765	33	1,02
1752	1779	0,00002	8637	7	1,21
1754	1703	0,000025	565	32	0,45
1754	1789	0,000008	500	146	0,58
1755	1722	0,000025	510	37	0,47
1755	1758	0,000047	535	221	5,56
1755	1783	0,000025	1780	29	1,30

1756	1727	0,000055	585	97	3,12
1756	1765	0,00003	520	31	0,48
1757	1759	0,00002	500	51	0,51
1757	1765	0,000025	560	59	0,74
1757	1779	0,00002	8637	40	6,90
1757	1791	0,000002	159353	90	28,68
1758	1755	0,000047	535	221	5,56
1758	1773	0,000025	500	34	0,43
1758	1774	0,000035	527	28	0,52
1759	1757	0,000008	500	51	0,51
1759	1760	0,000025	550	35	0,48
1759	1765	0,000035	8637	31	9,37
1760	15	0,00004	2325	0	0,00
1760	1759	0,000025	550	35	0,48
1760	1791	0,000003	555	98	0,16
1761	1718	0,00002	520	83	0,87
1761	1720	0,000008	500	45	1,60
1761	1783	0,000025	1780	44	1,96
1762	1717	0,000008	500	30	0,14
1762	1718	0,000008	500	70	0,32
1763	1711	0,000004	755	22	0,66
1763	1764	0,000025	755	23	0,43
1764	3	0,0000025	17943	0	0,00
1764	1763	0,0001	755	23	1,72
1764	1798	0,000006	17943	16	1,72
1765	6	0,0000025	8637	0	0,00
1765	1756	0,00003	520	31	0,48
1765	1757	0,0000025	8637	59	0,74
1765	1759	0,000035	8637	31	9,37
1765	1779	0,000005	18117	33	2,98
1768	1720	0,0008	8455	184	32,75
1769	1713	0,000009	505	22	0,10
1769	1716	0,00014	515	19	1,40
1770	1714	0,00002	5525	22	8,90
1770	1716	0,00016	585	32	2,30
1770	1794	0,00002	500	47	0,47
1771	13	0,000008	5000	0	0,00
1771	1714	0,000008	500	20	0,80
1771	1779	0,000008	8637	54	3,73
1771	1799	0,000005	580	67	0,19
1772	1782	0,000085	525	71	3,17
1772	2147	0,00002	500	32	0,20
1772	2174	0,00002	500	79	0,79
1773	1716	0,0008	500	187	14,00
1773	1758	0,00002	500	34	0,43
1773	1782	0,00003	500	172	2,58
1774	1758	0,000035	527	28	0,52

1774	1782	0,000065	535	139	4,83
1775	1792	0,000008	500	4	0,16
1775	2100	0,000008	500	52	0,29
1775	2101	0,000015	510	72	0,56
1776	1700	0,00003	2325	36	2,51
1776	1702	0,0002	5225	109	12,67
1777	8	0,00005	28200	0	0,00
1777	1703	0,00006	28200	147	248,72
1777	1725	0,00007	28200	55	108,51
1777	1739	0,000065	28200	55	100,82
1777	1740	0,00005	28200	83	117,03
1777	1742	0,000045	28200	122	154,82
1778	9	0,000002	159353	0	0,00
1778	1791	0,000002	159353	0	0,00
1779	7	0,00002	18117	0	0,00
1779	1752	0,000008	18117	7	1,21
1779	1757	0,000008	18117	40	6,90
1779	1765	0,000005	18117	33	2,98
1779	1771	0,000008	5058	54	3,73
1780	4	,00004	18345	0	0,00
1780	1712	0,00002	563	24	0,27
1780	1743	0,000065	18345	38	45,31
1780	1744	0,000085	18345	57	88,88
1780	1750	0,000055	18345	5	5,00
1781	5	0,000008	800408	0	0,00
1781	1788	0,000008	800403	0	0,00
1782	1713	0,00006	560	121	4,07
1782	1772	0,000085	525	71	3,17
1782	1773	0,00003	500	172	2,58
1782	1774	0,000065	535	139	4,83
1782	2226	0,000075	500	5	0,75
1783	1720	0,00003	515	63	0,97
1783	1721	0,00003	515	42	0,65
1783	1755	0,000025	1780	29	1,30
1783	1761	0,000025	1780	44	1,96
1784	1729	0,00008	500	63	2,86
1785	12	0,0005	1720	0	0,00
1785	1722	0,000045	520	318	7,44
1785	1724	0,000035	510	234	4,17
1788	1715	0,000008	800403	16	102,00
1788	1781	0,000008	800403	0	0,00
1788	1795	0,00003	500	0	0,00
1788	1799	0,0001	535	0	0,00
1789	1754	0,00008	500	146	0,58
1789	1791	0,00009	525	0	0,00
1790	1738	0,000002	500	5	0,00
1790	1791	0,000005	515	0	0,00

1791	1740	0,000003	28200	124	10,50
1791	1757	0,000002	159353	90	28,68
1791	1760	0,000003	555	98	0,16
1791	1778	0,000002	159353	0	0,00
1791	1789	0,000008	12500	0	0,00
1791	1790	0,0000009	565	0	0,00
1792	1793	0,000035	505	0	0,00
1792	1795	0,000045	535	0	0,00
1792	1797	0,000045	535	0	0,00
1792	1775	0,000065	535	40	0,16
1793	1792	0,000035	505	0	0,00
1793	1796	0,000075	575	0	0,00
1794	1770	0,00002	500	47	0,47
1794	1796	0,00006	500	0	0,00
1795	1788	0,0001	650	0	0,00
1795	1792	0,000008	750	0	0,00
1795	1796	0,00002	625	0	0,00
1795	1798	0,0001	500	0	0,00
1796	1716	0,00013	500	43	2,80
1796	1793	0,00006	517	0	0,00
1796	1794	0,000002	500	0	0,00
1796	1795	0,000008	500	0	0,00
1797	1792	0,000025	565	0	0,00
1797	1798	0,000075	28200	0	0,00
1797	1792	0,00003	525	0	0,00
1798	1711	0,000006	17943	78	1,70
1798	1715	0,000065	500	0	0,00
1798	1764	0,000008	500	16	1,60
1798	1795	0,000025	500	0	0,00
1798	1797	0,000006	500	0	0,00
1799	1771	0,000002	580	67	1,25
1799	1788	0,000005	800408	0	0,00
1799	1794	0,000008	765	0	0,00
1799	1800	0,000073	540	0	0,00
1800	1709	0,00006	500	90	1,60
1800	1710	0,000065	520	26	1,60
1800	1715	0,00006	530	0	0,00
1800	1799	0,000073	540	0	0
1803	1724	0,000008	500	45	1,60
1803	1725	0,000008	500	90	1,60

APPENDICE A.3

REPRÉSENTATION TOTALE DU RÉSEAU ROUTIER DE LA PROVINCE DE QUÉBEC DANS STAN

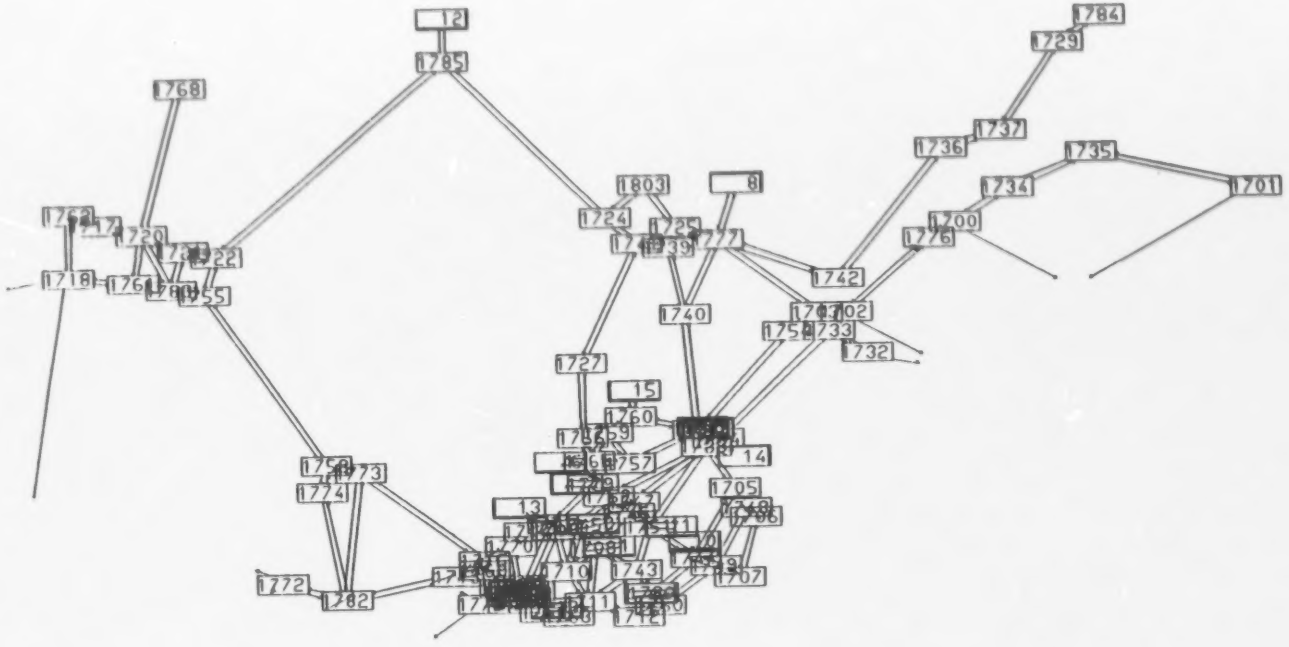
(voir page suivante)

BASE NETWORK

STAN

MODES:

LINKS:
all



VINDOW:
99.549/47.6709
116.79/60.6024

STAN PROJECT: STAN STANDARD DEMONSTRATION AND TEST DATA BANK
SCENARIO 2000: TRANSPORT DES MATIERES DANGEREUSES:SELECTION INDIVIDUELLE

98-05-01 10:52
MODULE: 2.13
STAN_CAT....kd

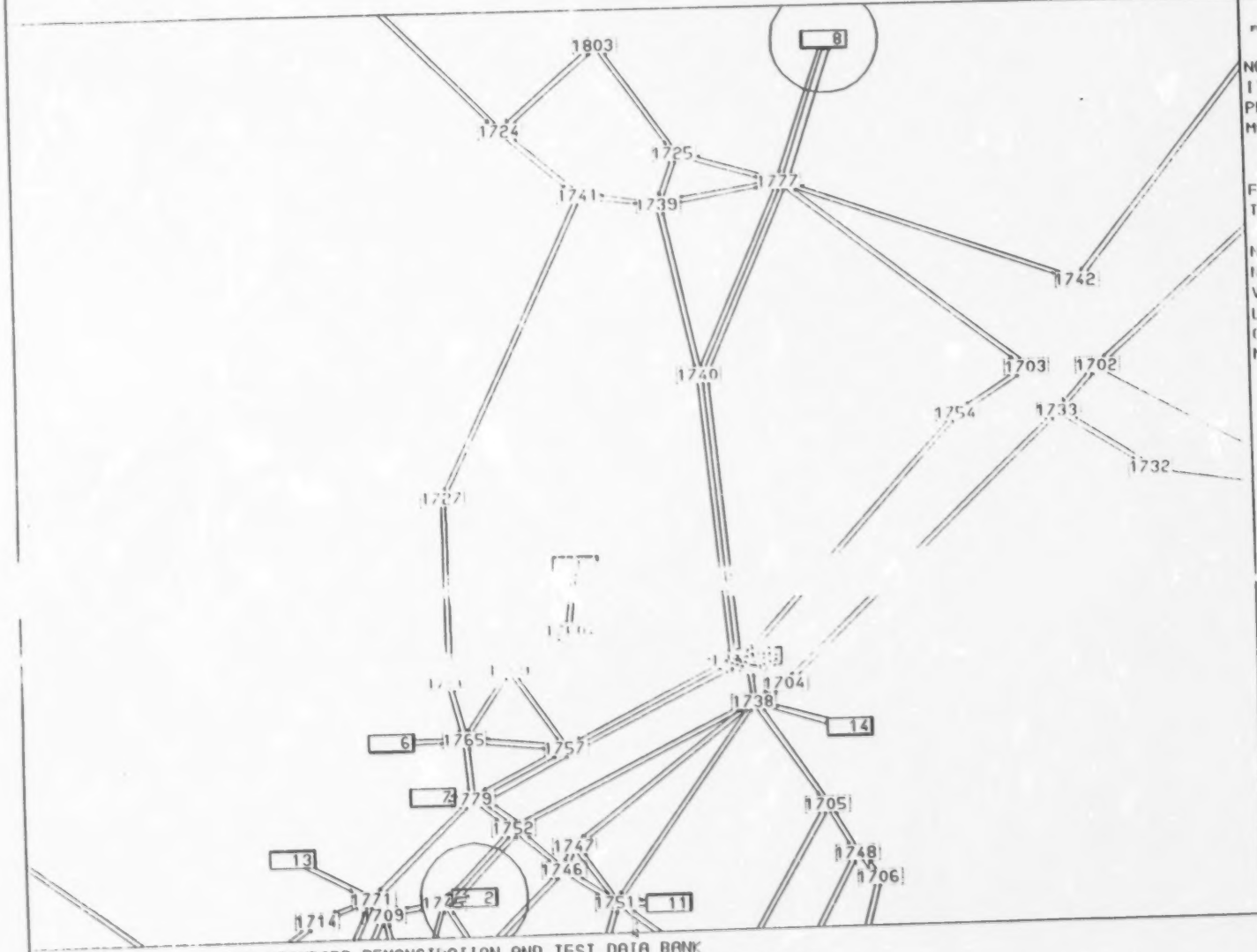
APPENDICE A.3

REPRÉSENTATION PARTIELLE DU RÉSEAU ROUTIER DE LA PROVINCE DE QUÉBEC DANS STAN

(voir page suivante)

ANALYSIS OF ASSIGNED PATHS

STAN



MODES:

NO	1
ITERATION	0
PRODUCT	1
MATRIX	MF01
CENTROID	
FROM	2
TO	8
NLINK:	8
NTRAN:	0
VOL:	0
LEN:	388
COST:	612 8104
MCOST:	612 8104

WINDOW:
105.12/51.8507
111.22/56.4226

STAN PROJECT: STAN STANDARD DEMONSTRATION AND TEST DATA BANK
SCENARIO 2000: TRANSPORT DES MATIERES DANGEREUSES:SELECTION INDIVIDUELLE

98-05-01 12:38
MODULE: 6 31
STAN_CRT....kd

TABLEAU 4.5

Noeuds du réseau avec les villes et villages qui leur correspondent

CENTROIDES:

centroide	étiquetage du noeud	ville/village correspondant au noeud
1	DRUM	Drummondville
2	PIER	Pierreville
3	SJEA	Saint-Jean-sur-Richelieu
4	SHER	Sherbrooke
5	MTL	Montréal
6	GRAN	Granby
7	T.R.	Trois-Rivères
8	CHIC	Chicoutimi
9	QUE	Québec
10	SGER	Saint-Germain
11	VICT	Victoria ville
12	CHIB	Chibougamau
13	JOLI	Joliette
14	CHAR	Charny
15	RIVI	Rvière-à-pierre

NOEUDS RÉGULIERS

noeud	étiquetage du noeud	ville/village correspondant au noeud
1509	CAMP	Campbellton
1535	EDMU	Edmundston
1700	MJOL	Mont-joli
1701	GASP	Gaspé
1702	RDLO	Rivière du loup
1703	SSIM	Saint-Siméon
1704	LEVI	Lévis
1705	VALL	Vallée-Jonction
1706	SGEO	Saint-Georges
1707	MEGA	Mégantic-Compton
1708	DRUM	Drummondville
1709	SORE	Sorel
1710	SHYA	Saint-Hyacinthe
1711	GRAN	Granby
1712	MAGO	Magog
1713	LACH	Lachute
1714	JOLI	Joliette
1715	LONG	Longueuil
1716	SJER	Saint-Jérôme
1717	TASC	Tashereau
1718	ROUY	Rouyn-Noranda
1720	AMOS	Amos
1721	BARR	Barraute
1722	SENN	Senneterre
1724	SFEL	Saint-Félicien

1725	ALMA	Alma
1727	LATU	La tuque
1729	PCAR	Pointe-Claire
1732	SELE	Saint-Élie
1733	SAND	Saint-André
1734	MATA	Matagami
1735	SANN	Sant-Antoine
1736	BCOM	Baie Comeau
1737	GODB	Godbout
1738	CHAR	Charny
1739	HEBE	Hébertville
1740	PLAU	Plaisance
1741	CHAM	Chambly
1742	TADO	Tadoussac
1743	RICH	Richmond
1744	SGER	Saint-Germain
1745	PIER	Pierreville
1746	SEUL	Saint-Eugene-de-Ladriere
1747	SLOU	Saint-Louis
1748	BEAU	Beaupré
1749	WINS	Windsor
1750	LENN	Lennoxville
1751	VICT	Victoria-ville
1752	SGRE	Saint-Gabriel
1754	CLER	Clermont
1755	LOUV	Louisville
1756	SROC	Saint-Roch
1757	SANP	Saint-Pauphile
1758	GRAN	Grande-Riviere
1759	HERV	Henryville
1760	RIVI	Riviere-à-pierre
1761	HEVA	Hauterive
1762	MACA	Macamic
1763	FARN	Farnham
1764	SJEA	Saint-Jean-sur-Richelieu
1765	GRAN	Granby
1768	MATA	Matane
1769	MIRA	Mirabel
1770	SESP	Saint-Esprit
1771	BERT	Bertthierville
1772	SHAW	Shawinigan
1773	MLAU	Mont-Laurier
1774	MANI	Maniwaki
1775	VAUD	Vaudreuil
1776	RIMO	Rimouski
1777	CHIC	Chicoutimi
1778	QUE	Québec
1779	T.R	Trois-Rivières
1780	SHER	Sherbrooke
1781	MTL	Montréal
1782	HULL	Hull
1783	VALD	Val D'or
1784	SEPT	Sept-iles
1785	CHIB	Chibougamau

1788	1788	1788 *
1789	1789	1789
1790	1790	1790
1791	1791	1791
1792	1792	1792
1793	1793	1793
1794	1794	1794
1795	1795	1795
1796	1796	1796
1797	1797	1797
1798	1798	1798
1799	1799	1799
1800	1800	1800

* Certains noeuds ont été rajoutés dans le but d'augmenter le nombre de connections possibles entre les différents liens du réseau routier de la province de Québec.

APPENDICE B

FIGURES ET TABLEAUX DU CHAPITRE V

B.1 Exemple de STAN représentant la première route sélectionnée lors de l'affectation de toutes les demandes individuellement 164

B.2 Représentation des volumes de hazmat, des risques et des distances des routes sélectionnées (première affectation: sélection individuelle) 165

B.3 Coûts totaux de hazmat sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec (première affectation) 167

B.4 Représentation du volume de hazmat transporté et du risque total sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec (première affectation: sélection globale) 174

B.5 Exemple de STAN représentant la première route sélectionnée lors de l'affectation de toutes les demandes simultanément 181

B.6 Comparaison des risques totaux sur les liens de la première route qui sont obtenus lors des deux sélections individuelle et globale 182

B.7 Représentation du volume de hazmat transporté et du risque total sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec (deuxième affectation: sélection globale) 183

B.8 Comparaison des répartitions des risques entre les première et deuxième affectations des demandes (du lien 1738-1752 au lien 1745-1708) 190

B.9 Représentation du volume de hazmat transporté et du risque total sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec (troisième affectation: sélection globale) 191

B.10 Comparaison des répartitions des risques entre les deuxième et troisième affectations des demandes (du lien 1738-1752 au lien 1745-1708) 198

B.11 Représentation des volumes de hazmat, des risques et des distances des routes sélectionnées (troisième affectation: sélection globale) 199

B.12 Exemple de STAN représentant les routes de la cinquième demande 202

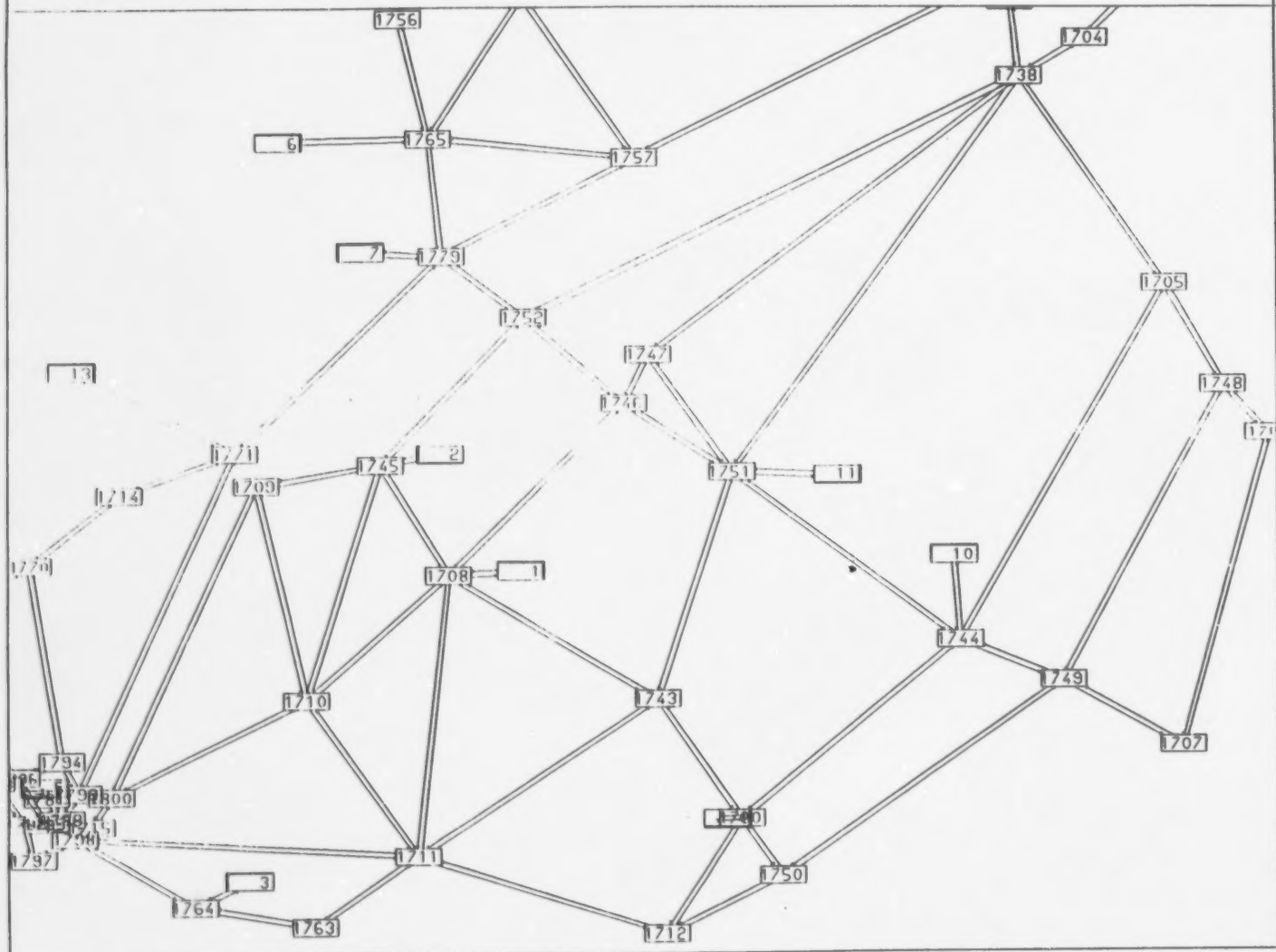
APPENDICE B.1

EXEMPLE DE STAN REPRÉSENTANT LA PREMIÈRE ROUTE SÉLECTIONNÉE LORS DE L'AFFECTATION DE TOUTES LES DEMANDES INDIVIDUELLEMENT

(voir page suivante)

BASE NETWORK

STAN



MODES:
LINKS:
all

WINDOW:
106.28/50.8293
109.35/53.1342

STAN PROJECT STAN STANDARD DEMONSTRATION AND TEST DATA BANK
SCENARIO 3000: TRANSPORT DES MATIERES DANGEREUSES:SELECTION GLOBALE

98-05-01 11:14
MODULE: 2.13
STAN_CRT....kd

TABLEAU 5.2

Représentation des volumes de hazmat, des risques
et des distances des routes sélectionnées
(première affectation: sélection individuelle)

route	liens	volume total	risque total	distance totale
1	2 - 1745 - 1752 - 1779 - 1757 - 1791 - 1740 - 1777 - 8	70	927,86	388
2	4 - 1780 - 1712 - 1711 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1799 - 1771 - 13	80	26,30	206
3	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1798 - 1715 - 1800 - 1710 - 1708 - 1	90	432,29	69
4	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1798 - 1715 - 1800 - 1710 - 1745 - 1752 - 1779 - 1757 - 1791 - 1740 - 1777 - 8	125	1665,70	414
5	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1746 - 1751 - 1743 - 1780 - 4	105	454,86	191
6	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	135	69,55	110
7	7 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	100	41,44	93
8	8- 1777 - 1740 - 1791 - 1790 - 1738 - 1751 - 1743 - 1780 - 4	90	1303,45	407
9	9 - 1 1778 - 1791 - 1790 - 1738 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	115	73,37	220
10	10 - 1744 - 1751 - 1756 - 1752 - 1779 - 1771 - 13	110	84,83	186

11	11 - 1751 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	120	36,58	128
12	12 - 1785 - 1724 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 7	130	553,07	579
13	14 - 1738 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	105	66,95	215
14	15 - 1760 - 1759 - 1765 - 1779 - 1752 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	85	1224,68	192

TABLEAU 5.4

Coûts totaux des matières dangereuses sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec (première affectation)

noeud i	noeud j	coûts de hazmat ($/t)
1	1708	0,00
2	1745	0,00
3	1764	0,00
4	1780	0,00
5	1781	0,00
6	1765	0,00
7	1779	0,00
8	1777	0,00
9	1778	0,00
10	1744	0,00
11	1751	0,00
12	1785	0,00
13	1771	0,00
14	1738	0,00
15	1760	0,00
1760	15	0,00
1700	1509	248,44
1700	1734	107,50
1700	1776	43,60
1701	1509	418,52
1701	1735	292,31
1702	1535	199,69
1702	1733	26,62
1702	1776	149,18
1703	1754	49,67
1703	1777	260,30
1704	1733	218,86
1704	1738	20,24
1705	1738	115,23
1705	1744	129,98
1705	1748	37,25
1706	1707	121,08
1706	1748	24,83
1707	1706	121,08
1707	1749	37,09
1708	1	0,00
1708	1710	77,84
1708	1711	97,70
1708	1743	63,15

1708	1745	65,72
1708	1746	51,87
1709	1710	71,85
1709	1745	52,75
1709	1800	144,06
1710	1708	77,84
1710	1709	71,85
1710	1711	44,67
1710	1745	0,00
1710	1800	41,74
1711	1708	119,48
1711	1710	44,67
1711	1712	89,93
1711	1743	98,60
1711	1763	35,31
1711	1798	133,94
1712	1711	89,93
1712	1750	44,83
1712	1780	36,04
1713	1716	43,22
1713	1769	31,92
1713	1782	194,25
1713	2100	27,91
1714	1770	36,62
1714	1771	27,53
1715	1788	39,84
1715	1798	0,00
1715	1800	0,00
1716	1713	41,62
1716	1769	33,47
1716	1770	40,37
1716	1773	245,34
1716	1796	56,35
1717	1720	117,95
1717	1762	51,02
1718	1761	120,49
1718	1762	119,05
1718	2145	441,95
1718	2148	166,72
1720	1717	117,95
1720	1721	57,74
1720	1761	72,26
1720	1768	226,04
1720	1783	75,76
1721	1720	64,79
1721	1722	44,97
1721	1783	52,60

1722	1721	44,97
1722	1755	51,88
1722	1785	414,59
1724	1741	72,16
1724	1785	375,07
1724	1803	72,48
1725	1739	24,90
1725	1777	99,86
1725	1803	144,96
1727	1741	221,88
1727	1756	116,90
1729	1737	149,15
1729	1784	85,51
1732	1535	144,96
1732	1733	33,25
1733	1702	26,62
1733	1704	218,86
1733	1732	33,25
1733	1700	107,50
1734	1735	123,86
1735	1701	292,31
1735	1734	123,86
1735	1737	66,64
1736	1742	267,08
1737	1729	149,15
1737	1736	66,64
1737	1704	0,00
1738	14	20,24
1738	1704	115,23
1738	1747	145,78
1738	1751	148,72
1738	1752	181,24
1738	1790	6,75
1738	1725	25,85
1739	1740	145,04
1739	1741	48,69
1739	1777	115,13
1740	1739	145,04
1740	1777	143,22
1740	1791	193,88
1741	1724	72,16
1741	1727	186,13
1741	1739	48,69
1742	1736	267,08
1742	1777	256,57
1743	1708	63,15
1743	1711	98,60

1743	1751	80,24
1743	1780	56,65
1744	10	0,00
1744	1705	129,98
1744	1749	33,12
1744	1751	98,99
1744	1780	98,01
1745	2	0,00
1745	1708	76,97
1745	1709	50,65
1745	1710	0,00
1745	1752	61,82
1746	1708	51,87
1746	1747	36,92
1746	1751	39,34
1746	1752	49,66
1747	1738	141,23
1747	1746	31,63
1747	1751	34,77
1748	1705	37,25
1748	1706	24,83
1748	1749	94,25
1749	1707	37,09
1749	1744	35,20
1749	1748	114,97
1749	1750	102,04
1750	1712	54,40
1750	1749	95,44
1750	1780	8,55
1751	11	0,00
1751	1738	158,92
1751	1743	74,74
1751	1744	98,99
1751	1746	39,34
1751	1747	34,77
1752	1738	200,59
1752	1745	55,22
1752	1746	42,07
1752	1779	12,09
1754	1703	49,67
1754	1789	219,09
1755	1722	51,88
1755	1758	387,64
1755	1783	45,16
1756	1727	116,90
1756	1765	49,68
1757	1759	71,48

1757	1765	94,52
1757	1779	69,10
1757	1791	145,89
1758	1755	387,64
1758	1773	45,97
1758	1774	36,48
1759	1757	76,58
1759	1760	59,58
1759	1765	49,55
1760	15	0,00
1760	1759	59,58
1760	1791	156,83
1761	1718	120,49
1761	1720	61,01
1761	1783	68,51
1762	1717	46,52
1762	1718	108,55
1763	1711	35,31
1763	1764	36,87
1764	3	0.00
1764	1763	36,87
1764	1798	25,88
1765	6	0,00
1765	1756	49,68
1765	1757	82,72
1765	1759	49,55
1765	1779	48,99
1768	1720	253,64
1769	1713	31,92
1769	1716	33,47
1770	1714	38,82
1770	1716	40,37
1770	1794	79,98
1771	13	0,00
1771	1714	31,13
1771	1779	84,30
1771	1799	83,78
1772	1782	90,68
1772	2147	44,83
1772	2174	110,73
1773	1716	254,69
1773	1758	52,77
1773	1782	275,61
1774	1758	36,48
1774	1782	209,27
1775	1792	54,03
1775	2100	70,25

1775	2101	104,49
1776	1700	43,60
1776	1702	149,18
1777	8	0,00
1777	1703	260,30
1777	1725	99,86
1777	1739	115,13
1777	1740	143,22
1777	1742	256,57
1778	9	0,00
1778	1791	0,00
1779	7	0,00
1779	1752	9,78
1779	1757	55,90
1779	1765	48,99
1779	1771	74,58
1780	4	0,00
1780	1712	32,92
1780	1743	56,65
1780	1744	98,01
1780	1750	8,55
1781	5	0,00
1781	1788	0,00
1782	1713	194,25
1782	1772	90,68
1782	1773	275,61
1782	1774	209,27
1782	2226	6,87
1783	1720	75,76
1783	1721	52,60
1783	1755	46,61
1783	1761	70,71
1784	1729	85,51
1785	12	0,00
1785	1722	414,59
1785	1724	375,07
1788	1715	37,92
1788	1781	0,00
1788	1795	0,00
1788	1799	0,00
1789	1754	233,69
1789	1791	4,80
1790	1738	6,75
1790	1791	8,75
1791	1740	193,88
1791	1757	126,09
1791	1760	156,83

1791	1778	0,00
1791	1789	4,80
1791	1790	8,75
1792	1775	62,03
1792	1793	0,00
1792	1795	0,00
1792	1797	0,00
1793	1792	0,00
1793	1796	18,50
1794	1770	72,93
1794	1796	0,00
1794	1799	156,60
1795	1788	0,00
1795	1792	0,00
1795	1796	0,00
1795	1798	0,00
1796	1716	56,35
1796	1793	18,50
1796	1794	0,00
1796	1795	0,00
1797	1792	0,00
1797	1798	0,00
1798	1711	133,94
1798	1715	0,00
1798	1764	25,88
1798	1795	0,00
1798	1797	0,00
1799	1771	83,78
1799	1788	0,00
1799	1794	156,60
1799	1800	3,76
1800	1709	121,56
1800	1710	41,74
1800	1715	0,00
1800	1799	3,76
1803	1724	72,48
1803	1725	122,46

TABLEAU 5-7

représentation du volume de hazmat transporté et du risque total sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec
(première affectation: sélection globale)

noeud i	noeud j	risque unitaire (ul_1)	volume transporté	poids de véhicule plein	risque total
1	1708	0,00	0,00	12,5	0,00
2	1745	0,00	70,00	12,5	0,00
3	1764	0,00	0,00	12,5	0,00
4	1780	0,00	80,00	12,5	0,00
5	1781	0,00	295,00	12,5	0,00
6	1765	0,00	240,00	12,5	0,00
7	1779	0,00	100,00	12,5	0,00
8	1777	0,00	90,00	12,5	0,00
9	1778	0,00	115,00	12,5	0,00
10	1744	0,00	110,00	12,5	0,00
11	1751	0,00	120,00	12,5	0,00
12	1785	0,00	130,00	12,5	0,00
13	1771	0,00	0,00	12,5	0,00
14	1738	0,00	105,00	12,5	0,00
15	1760	0,00	85,00	12,5	0,00
1760	15	0,00	0,00	12,5	0,00
1700	1509	24,63	0,00	12,5	0,00
1700	1734	11,90	0,00	12,5	0,00
1700	1776	2,51	0,00	12,5	0,00
1701	1509	23,90	0,00	12,5	0,00
1701	1735	11,66	0,00	12,5	0,00
1702	1535	4,91	0,00	12,5	0,00
1702	1733	1,01	0,00	12,5	0,00
1702	1776	12,67	0,00	12,5	0,00
1703	1754	0,45	0,00	12,5	0,00
1703	1777	248,72	0,00	12,5	0,00
1704	1733	8,14	0,00	12,5	0,00
1704	1738	0,56	0,00	12,5	0,00
1705	1738	3,33	0,00	12,5	0,00
1705	1744	2,38	0,00	12,5	0,00
1705	1748	0,31	0,00	12,5	0,00
1706	1707	1,12	0,00	12,5	0,00
1706	1748	0,21	0,00	12,5	0,00
1707	1706	1,12	0,00	12,5	0,00
1707	1749	0,61	0,00	12,5	0,00
1708	1	0,00	90,00	12,5	0,00
1708	1710	37,68	0,00	12,5	0,00
1708	1711	86,77	0,00	12,5	0,00

1708	1743	29,06	0,00	12,5	0,00
1708	1745	59,16	0,00	12,5	0,00
1708	1746	39,39	0,00	12,5	0,00
1709	1710	2,20	0,00	12,5	0,00
1709	1745	1,58	0,00	12,5	0,00
1709	1800	0,36	0,00	12,5	0,00
1710	1708	37,68	0,00	12,5	0,00
1710	1709	2,20	0,00	12,5	0,00
1710	1711	0,73	0,00	12,5	0,00
1710	1745	0,00	295,00	12,5	0,00
1710	1800	0,88	740,00	12,5	52,10
1711	1708	86,77	0,00	12,5	0,00
1711	1710	0,73	80,00	12,5	4,67
1711	1712	2,04	0,00	12,5	0,00
1711	1743	0,31	0,00	12,5	0,00
1711	1763	0,66	0,00	12,5	0,00
1711	1798	8,40	0,00	12,5	0,00
1712	1711	2,04	80,00	12,5	13,06
1712	1750	31,90	0,00	12,5	0,00
1712	1780	0,27	0,00	12,5	0,00
1713	1716	0,13	0,00	12,5	0,00
1713	1769	0,10	0,00	12,5	0,00
1713	1782	4,07	0,00	12,5	0,00
1713	2100	1,93	0,00	12,5	0,00
1714	1770	8,90	0,00	12,5	0,00
1714	1771	0,80	0,00	12,5	0,00
1715	1788	102,00	0,00	12,5	0,00
1715	1798	0,00	740,00	12,5	0,00
1715	1800	0,00	295,00	12,5	0,00
1716	1713	0,13	0,00	12,5	0,00
1716	1769	1,40	0,00	12,5	0,00
1716	1770	2,30	0,00	12,5	0,00
1716	1773	14,00	0,00	12,5	0,00
1716	1796	2,80	0,00	12,5	0,00
1717	1720	17,94	0,00	12,5	0,00
1717	1762	0,14	0,00	12,5	0,00
1718	1761	0,87	0,00	12,5	0,00
1718	1762	0,32	0,00	12,5	0,00
1718	2145	1,28	0,00	12,5	0,00
1718	2148	0,45	0,00	12,5	0,00
1738	12	0,00	0,00	12,5	0,00
1720	1717	17,94	0,00	12,5	0,00
1720	1721	8,36	0,00	12,5	0,00
1720	1761	1,60	0,00	12,5	0,00
1720	1768	32,75	0,00	12,5	0,00
1720	1783	0,97	0,00	12,5	0,00
1721	1720	8,36	0,00	12,5	0,00

1721	1722	0,12	0,00	12,5	0,00
1721	1783	0,65	0,00	12,5	0,00
1722	1721	0,12	0,00	12,5	0,00
1722	1755	0,47	0,00	12,5	0,00
1722	1785	7,44	0,00	12,5	0,00
1724	1741	41,00	130,00	12,5	426,40
1724	1785	4,17	0,00	12,5	0,00
1724	1803	3,02	0,00	12,5	0,00
1725	1739	1,27	0,00	12,5	0,00
1725	1777	108,51	0,00	12,5	0,00
1725	1803	6,03	0,00	12,5	0,00
1727	1741	1,43	0,00	12,5	0,00
1727	1756	3,12	130,00	12,5	32,45
1729	1737	2,52	0,00	12,5	0,00
1729	1784	2,86	0,00	12,5	0,00
1729	1535	4,77	0,00	12,5	0,00
1732	1733	1,45	0,00	12,5	0,00
1732	1702	1,01	0,00	12,5	0,00
1733	1704	8,14	0,00	12,5	0,00
1733	1732	1,45	0,00	12,5	0,00
1733	1700	11,90	0,00	12,5	0,00
1734	1735	3,51	0,00	12,5	0,00
1734	1701	11,66	0,00	12,5	0,00
1735	1734	3,51	0,00	12,5	0,00
1735	1737	0,88	0,00	12,5	0,00
1736	1742	4,64	0,00	12,5	0,00
1737	1729	2,52	0,00	12,5	0,00
1737	1736	0,88	0,00	12,5	0,00
1738	14	0,00	80,00	12,5	0,00
1738	1704	0,56	0,00	12,5	0,00
1738	1705	3,33	0,00	12,5	0,00
1738	1747	1,14	0,00	12,5	0,00
1738	1751	5,10	90,00	12,5	36,72
1738	1752	4,00	220,00	12,5	70,40
1738	1790	0,00	0,00	12,5	0,00
1739	1725	1,27	0,00	12,5	0,00
1739	1740	160,74	0,00	12,5	0,00
1739	1741	0,57	0,00	12,5	0,00
1739	1777	100,82	195,00	12,5	0,00
1740	1739	160,74	90,00	12,5	0,00
1740	1777	117,03	0,00	12,5	1825,67
1740	1791	10,50	0,00	12,5	75,60
1741	1724	41	130,00	12,5	0,00
1741	1727	1,43	0,00	12,5	14,87
1741	1739	0,57	0,00	12,5	0,00
1742	1736	4,64	0,00	12,5	0,00
1742	1777	154,82	0,00	12,5	0,00

1743	1708	29,06	0,00	12,5	0,00
1743	1711	0,31	0,00	12,5	0,00
1743	1751	3,09	0,00	12,5	0,00
1743	1780	45,31	195,00	12,5	706,84
1744	10	0,00	0,00	12,5	0,00
1744	1705	2,38	0,00	12,5	0,00
1744	1749	0,63	0,00	12,5	0,00
1744	1751	3,14	110,00	12,5	27,63
1744	1780	88,88	0,00	12,5	0,00
1745	2	0,00	0,00	12,5	0,00
1745	1708	59,16	90,00	12,5	425,95
1745	1709	1,59	0,00	12,5	0,00
1745	1710	0,00	660,00	12,5	0,00
1745	1752	1,37	275,00	12,5	30,14
1746	1708	39,39	0,00	12,5	0,00
1746	1747	15,11	0,00	12,5	0,00
1746	1751	0,54	105,00	12,5	4,54
1746	1752	1,02	230,00	12,5	18,77
1747	1738	1,14	0,00	12,5	0,00
1747	1746	15,11	0,00	12,5	0,00
1747	1751	0,72	0,00	12,5	0,00
1748	1705	0,31	0,00	12,5	0,00
1748	1706	0,21	0,00	12,5	0,00
1748	1749	1,67	0,00	12,5	0,00
1749	1707	0,61	0,00	12,5	0,00
1749	1744	0,63	0,00	12,5	0,00
1749	1748	1,67	0,00	12,5	0,00
1749	1750	72,64	0,00	12,5	0,00
1750	1712	31,90	0,00	12,5	0,00
1750	1749	72,64	0,00	12,5	0,00
1750	1780	5,00	0,00	12,5	0,00
1751	11	0,00	0,00	12,5	0,00
1751	1738	5,10	0,00	12,5	0,00
1751	1743	3,09	195,00	12,5	48,20
1751	1744	3,14	0,00	12,5	0,00
1751	1746	0,54	230,00	12,5	9,94
1751	1747	0,72	0,00	12,5	0,00
1752	1738	4,00	80,00	12,5	25,60
1752	1745	1,37	660,00	12,5	72,34
1752	1746	1,02	105,00	12,5	8,57
1752	1779	1,21	305,00	12,5	29,52
1754	1703	0,45	0,00	12,5	0,00
1754	1789	0,58	0,00	12,5	0,00
1755	1722	0,47	0,00	12,5	0,00
1755	1758	5,56	0,00	12,5	0,00
1755	1783	1,30	0,00	12,5	0,00
1756	1727	3,12	0,00	12,5	0,00

1756	1765	0,48	130,00	12,5	4,99
1757	1759	0,51	0,00	12,5	0,00
1757	1765	0,74	0,00	12,5	0,00
1757	1779	6,90	0,00	12,5	0,00
1757	1791	28,68	195,00	12,5	447,41
1758	1755	5,56	0,00	12,5	0,00
1758	1773	0,43	0,00	12,5	0,00
1758	1774	0,52	0,00	12,5	0,00
1759	1757	0,51	0,00	12,5	0,00
1759	1760	0,48	0,00	12,5	0,00
1759	1765	9,37	85,00	12,5	63,72
1760	15	0,00	0,00	12,5	0,00
1760	1759	0,48	85,00	12,5	3,26
1760	1791	0,16	0,00	12,5	0,00
1761	1718	0,87	0,00	12,5	0,00
1761	1720	1,60	0,00	12,5	0,00
1761	1783	1,96	0,00	12,5	0,00
1762	1717	0,14	0,00	12,5	0,00
1762	1718	0,32	0,00	12,5	0,00
1763	1711	0,66	0,00	12,5	0,00
1763	1764	0,43	0,00	12,5	0,00
1764	3	0,00	405,00	12,5	0,00
1764	1763	1,72	0,00	12,5	0,00
1764	1798	1,72	0,00	12,5	0,00
1765	6	0,00	0,00	12,5	0,00
1765	1756	0,48	0,00	12,5	0,00
1765	1757	0,74	0,00	12,5	0,00
1765	1759	9,37	0,00	12,5	0,00
1765	1779	2,98	455,00	12,5	108,47
1768	1720	32,75	0,00	12,5	0,00
1769	1713	0,10	0,00	12,5	0,00
1769	1716	1,40	0,00	12,5	0,00
1770	1714	8,90	0,00	12,5	0,00
1770	1716	2,30	0,00	12,5	0,00
1770	1794	0,47	0,00	12,5	0,00
1771	13	0,00	190,00	12,5	0,00
1771	1714	0,80	0,00	12,5	0,00
1771	1779	3,73	0,00	12,5	0,00
1771	1799	0,19	0,00	12,5	0,00
1772	1782	3,17	0,00	12,5	0,00
1772	2147	0,20	0,00	12,5	0,00
1772	2174	0,79	0,00	12,5	0,00
1773	1716	14,00	0,00	12,5	0,00
1773	1758	0,43	0,00	12,5	0,00
1773	1782	2,58	0,00	12,5	0,00
1774	1758	0,52	0,00	12,5	0,00
1774	1782	4,83	0,00	12,5	0,00

1775	1792	0,16	0,00	12,5	0,00
1775	2100	0,29	0,00	12,5	0,00
1775	2101	0,56	0,00	12,5	0,00
1776	1700	2,51	0,00	12,5	0,00
1776	1702	12,67	0,00	12,5	0,00
1777	8	0,00	195,00	12,5	0,00
1777	1703	248,72	0,00	12,5	0,00
1777	1725	108,51	0,00	12,5	0,00
1777	1739	100,82	0,00	12,5	0,00
1777	1740	117,03	90,00	12,5	842,62
1777	1742	154,82	0,00	12,5	0,00
1778	9	0,00	0,00	12,5	0,00
1778	1791	0,00	115,00	12,5	0,00
1779	7	0,00	130,00	12,5	0,00
1779	1752	1,21	425,00	12,5	41,14
1779	1757	6,90	195,00	12,5	107,64
1779	1765	2,98	0,00	12,5	0,00
1779	1771	3,73	110,00	12,5	32,82
1780	4	0,00	195,00	12,5	0,00
1780	1712	0,27	80,00	12,5	1,30
1780	1743	45,31	0,00	12,5	27,53
1780	1744	88,88	0,00	12,5	52,15
1780	1750	5,00	0,00	12,5	2,52
1781	5	0,00	255,00	12,5	0,00
1781	1788	0,00	295,00	12,5	0,00
1782	1713	4,07	0,00	12,5	12,13
1782	1772	3,17	0,00	12,5	0,00
1782	1773	2,58	0,00	12,5	0,00
1782	1774	4,83	0,00	12,5	0,00
1782	2226	0,75	0,00	12,5	0,00
1783	1720	0,97	0,00	12,5	0,00
1783	1721	0,65	0,00	12,5	0,00
1783	1755	1,30	0,00	12,5	0,00
1783	1761	1,96	0,00	12,5	0,00
1784	1729	2,86	0,00	12,5	0,00
1785	12	0,00	0,00	12,5	0,00
1785	1722	7,44	0,00	12,5	33,25
1785	1724	4,17	130,00	12,5	24,73
1788	1715	102,00	0,00	12,5	220,69
1788	1781	0,00	255,00	12,5	0,00
1788	1795	0,00	295,00	12,5	0,00
1788	1799	0,00	80,00	12,5	0,00
1789	1754	0,58	0,00	12,5	0,70
1789	1791	0,00	0,00	12,5	0,00
1790	1738	0,00	205,00	12,5	0,07
1790	1791	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1740	10,50	195,00	12,5	81,67

1791	1757	28,68	0,00	12,5	13,01
1791	1760	0,16	0,00	12,5	0,00
1791	1778	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1789	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1790	0,00	205,00	12,5	0,00
1792	1793	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1795	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1797	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1775	0,16	0,00	12,5	0,00
1793	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1793	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1794	1770	0,47	0,00	12,5	0,00
1794	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1788	0,00	335,00	12,5	0,00
1795	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1798	0,00	295,00	12,5	0,00
1796	1716	2,80	0,00	12,5	0,55
1796	1793	0,00	0,00	12,5	0,00
1796	1794	0,00	0,00	12,5	0,00
1796	1795	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1798	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1798	1711	1,70	0,00	12,5	2,55
1798	1715	0,00	295,00	12,5	0,00
1798	1764	1,60	405,00	12,5	41,21
1798	1795	0,00	335,00	12,5	0,00
1798	1797	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1771	1,25	80,00	12,5	1,87
1799	1788	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1794	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1800	0,00	0,00	12,5	3,60
1800	1709	1,60	0,00	12,5	0,00
1800	1710	1,60	295,00	12,5	19,81
1800	1715	0,00	740,00	12,5	0,00
1800	1799	0	0,00	12,5	4,23
1803	1724	1,60	0,00	12,5	0,00
1803	1725	1,60	0,00	12,5	30,02

APPENDICE B.5

EXEMPLE DE STAN REPRÉSENTANT LA PREMIÈRE ROUTE SÉLECTIONNÉE LORS DE L'AFFECTATION DE TOUTES LES DEMANDES SIMULTANÉMENT

(voir page suivante)

6	1765	1779	1752	1745	1710	1711	1712
1780	4						
6	1765	1759	1757	1779	1752	1746	1708
1743	1780	4					
6	1765	1779	1752	1746	1747	1751	1744
1749	1750	1780	4				
6	1765	1779	1752	1745	1710	1711	1712
1750	1780	4					
6	1765	1779	1752	1745	1710	1711	1712
1780	4						
6	1765	1779	1752	1745	1710	1711	1712
1780	4						
6	1765	1779	1752	1746	1751	1743	1780
4							

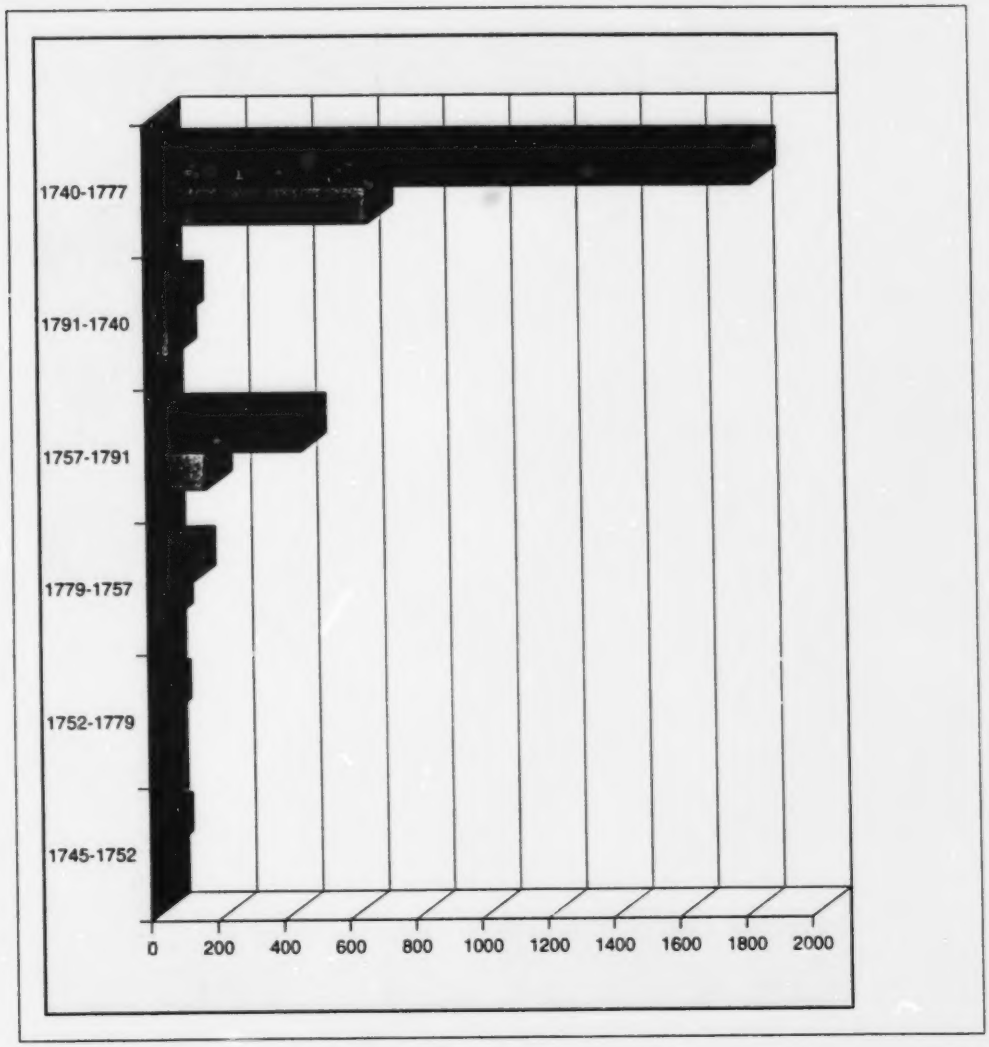


FIGURE 5.2 Comparaison des risques totaux sur les liens de la première route qui sont obtenus lors des deux sélections individuelle et globale.

TABLEAU 5-9

représentation du volume de hazmat transporté et du risque total sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec
(deuxième affectation: sélection globale)

noeud i	noeud j	risque unitaire (ul_1)	volume transporté	poids de véhicule plein	risque total
1	1708	0,00	0,00	12,5	0,00
2	1745	0,00	70,00	12,5	0,00
3	1764	0,00	0,00	12,5	0,00
4	1780	0,00	80,00	12,5	0,00
5	1781	0,00	295,00	12,5	0,00
6	1765	0,00	240,00	12,5	0,00
7	1779	0,00	100,00	12,5	0,00
8	1777	0,00	90,00	12,5	0,00
9	1778	0,00	115,00	12,5	0,00
10	1744	0,00	110,00	12,5	0,00
11	1751	0,00	120,00	12,5	0,00
12	1785	0,00	130,00	12,5	0,00
13	1771	0,00	0,00	12,5	0,00
14	1738	0,00	105,00	12,5	0,00
15	1760	0,00	85,00	12,5	0,00
1760	15	0,00	0,00	12,5	0,00
1700	1509	24,63	0,00	12,5	0,00
1700	1734	11,90	0,00	12,5	0,00
1700	1776	2,51	0,00	12,5	0,00
1701	1509	23,90	0,00	12,5	0,00
1701	1735	11,66	0,00	12,5	0,00
1702	1535	4,91	0,00	12,5	0,00
1702	1733	1,01	0,00	12,5	0,00
1702	1776	12,67	0,00	12,5	0,00
1703	1754	0,45	17,32	12,5	0,62
1703	1777	248,72	14,20	12,5	282,57
1704	1733	8,14	0,00	12,5	0,00
1704	1738	0,56	0,00	12,5	0,00
1705	1738	3,33	0,00	12,5	0,00
1705	1744	2,38	0,00	12,5	0,00
1705	1748	0,31	0,00	12,5	0,00
1706	1707	1,12	0,00	12,5	0,00
1706	1748	0,21	0,00	12,5	0,00
1707	1706	1,12	0,00	12,5	0,00
1707	1749	0,61	0,00	12,5	0,00
1708	1	0,00	90,00	12,5	0,00
1708	1710	37,68	0,00	12,5	0,00
1708	1711	86,77	18,47	12,5	128,22

1708	1743	29,06	4,24	12,5	9,85
1708	1745	59,16	0,00	12,5	0,00
1708	1746	39,39	1,52	12,5	4,79
1709	1710	2,20	0,00	12,5	0,00
1709	1745	1,58	0,00	12,5	0,00
1709	1800	0,36	0,00	12,5	0,00
1710	1708	37,68	34,75	12,5	104,74
1710	1709	2,20	0,00	12,5	0,00
1710	1711	0,73	212,90	12,5	12,43
1710	1745	0,00	170,37	12,5	0,00
1710	1800	0,88	487,95	12,5	34,35
1711	1708	86,77	17,33	12,5	120,29
1711	1710	0,73	17,00	12,5	0,99
1711	1712	2,04	156,00	12,5	25,46
1711	1743	0,31	23,38	12,5	0,58
1711	1763	0,66	217,68	12,5	11,49
1711	1798	8,40	18,47	12,5	12,41
1712	1711	2,04	81,00	12,5	13,22
1712	1750	31,90	14,20	12,5	36,24
1712	1780	0,27	141,80	12,5	3,06
1713	1716	0,13	0,00	12,5	0,00
1713	1769	0,10	0,00	12,5	0,00
1713	1782	4,07	0,00	12,5	0,00
1713	2100	1,93	0,00	12,5	0,00
1714	1770	8,90	21,02	12,5	14,97
1714	1771	0,80	122,65	12,5	7,85
1715	1788	102,00	5,00	12,5	40,79
1715	1798	0,00	186,14	12,5	0,00
1715	1800	0,00	169,47	12,5	0,00
1716	1713	0,13	0,00	12,5	0,00
1716	1769	1,40	0,00	12,5	0,00
1716	1770	2,30	122,65	12,5	22,57
1716	1773	14,00	0,00	12,5	0,00
1716	1796	2,80	32,65	12,5	7,32
1717	1720	17,94	0,00	12,5	0,00
1717	1762	0,14	0,00	12,5	0,00
1718	1761	0,87	0,00	12,5	0,00
1718	1762	0,32	0,00	12,5	0,00
1718	2145	1,28	0,00	12,5	0,00
1718	2148	0,45	0,00	12,5	0,00
1738	12	0,00	0,00	12,5	0,00
1720	1717	17,94	0,00	12,5	0,00
1720	1721	8,36	0,00	12,5	0,00
1720	1761	1,60	0,00	12,5	0,00
1720	1768	32,75	0,00	12,5	0,00
1720	1783	0,97	0,00	12,5	0,00
1721	1720	8,36	0,00	12,5	0,00

1721	1722	0,12	0,00	12,5	0,00
1721	1783	0,65	0,00	12,5	0,00
1722	1721	0,12	0,00	12,5	0,00
1722	1755	0,47	47,36	12,5	1,78
1722	1785	7,44	0,00	12,5	0,00
1724	1741	41,00	36,60	12,5	120,03
1724	1785	4,17	0,00	12,5	0,00
1724	1803	3,02	46,04	12,5	11,12
1725	1739	1,27	77,33	12,5	7,85
1725	1777	108,51	71,04	12,5	616,71
1725	1803	6,03	0,00	12,5	0,00
1727	1741	1,43	108,15	12,5	12,41
1727	1756	3,12	127,15	12,5	31,74
1729	1737	2,52	0,00	12,5	0,00
1729	1784	2,86	0,00	12,5	0,00
1729	1535	4,77	0,00	12,5	0,00
1732	1733	1,45	0,00	12,5	0,00
1732	1702	1,01	0,00	12,5	0,00
1733	1704	8,14	0,00	12,5	0,00
1733	1732	1,45	0,00	12,5	0,00
1733	1700	11,90	0,00	12,5	0,00
1734	1735	3,51	0,00	12,5	0,00
1734	1701	11,66	0,00	12,5	0,00
1735	1734	3,51	0,00	12,5	0,00
1735	1737	0,88	0,00	12,5	0,00
1736	1742	4,64	0,00	12,5	0,00
1737	1729	2,52	0,00	12,5	0,00
1737	1736	0,88	0,00	12,5	0,00
1738	14	0,00	80,00	12,5	0,00
1738	1704	0,56	0,00	12,5	0,00
1738	1705	3,33	0,00	12,5	0,00
1738	1747	1,14	79,23	12,5	7,23
1738	1751	5,10	76,49	12,5	31,21
1738	1752	4,00	107,82	12,5	34,50
1738	1790	0,00	84,58	12,5	0,034
1739	1725	1,27	71,04	12,5	7,22
1739	1740	160,74	2,83	12,5	36,32
1739	1741	0,57	93,38	12,5	4,26
1739	1777	100,82	54,86	12,5	442,50
1740	1739	160,74	17,45	12,5	224,34
1740	1777	117,03	54,89	12,5	513,93
1740	1791	10,50	28,16	12,5	23,65
1741	1724	41	0,00	12,5	0,00
1741	1727	1,43	127,15	12,5	14,55
1741	1739	0,57	111,29	12,5	5,07
1742	1736	4,64	0,00	12,5	0,00
1742	1777	154,82	0,00	12,5	0,00

1743	1708	29,06	27,51	12,5	63,95
1743	1711	0,31	120,16	12,5	2,98
1743	1751	3,09	7,10	12,5	1,76
1743	1780	45,31	21,55	12,5	78,13
1744	10	0,00	0,00	12,5	0,00
1744	1705	2,38	0,00	12,5	0,00
1744	1749	0,63	27,29	12,5	1,38
1744	1751	3,14	97,77	12,5	27,63
1744	1780	88,88	2,39	12,5	17,00
1745	2	0,00	0,00	12,5	0,00
1745	1708	59,16	16,07	12,5	76,04
1745	1709	1,59	0,00	12,5	0,00
1745	1710	0,00	260,47	12,5	0,00
1745	1752	1,37	224,31	12,5	24,58
1746	1708	39,39	18,58	12,5	58,55
1746	1747	15,11	17,45	12,5	21,08
1746	1751	0,54	104,16	12,5	4,50
1746	1752	1,02	259,35	12,5	21,16
1747	1738	1,14	0,00	12,5	0,00
1747	1746	15,11	32,88	12,5	39,75
1747	1751	0,72	77,13	12,5	4,44
1748	1705	0,31	0,00	12,5	0,00
1748	1706	0,21	0,00	12,5	0,00
1748	1749	1,67	0,00	12,5	0,00
1749	1707	0,61	0,00	12,5	0,00
1749	1744	0,63	0,00	12,5	0,00
1749	1748	1,67	0,00	12,5	0,00
1749	1750	72,64	27,29	12,5	158,57
1750	1712	31,90	17,00	12,5	43,38
1750	1749	72,64	0,00	12,5	0,00
1750	1780	5,00	31,65	12,5	12,66
1751	11	0,00	0,00	12,5	0,00
1751	1738	5,10	86,84	12,5	35,43
1751	1743	3,09	137,47	12,5	33,98
1751	1744	3,14	17,45	12,5	4,38
1751	1746	0,54	227,55	12,5	9,83
1751	1747	0,72	13,34	12,5	0,77
1752	1738	4,00	51,73	12,5	16,55
1752	1745	1,37	660,08	12,5	72,34
1752	1746	1,02	137,58	12,5	11,23
1752	1779	1,21	192,13	12,5	18,60
1754	1703	0,45	14,20	12,5	0,51
1754	1789	0,58	17,33	12,5	0,80
1755	1722	0,47	0,00	12,5	0,00
1755	1758	5,56	47,36	12,5	21,07
1755	1783	1,30	0,00	12,5	0,00
1756	1727	3,12	108,46	12,5	27,07

1756	1765	0,48	127,15	12,5	4,88
1757	1759	0,51	0,00	12,5	0,00
1757	1765	0,74	0,00	12,5	0,00
1757	1779	6,90	68,26	12,5	37,67
1757	1791	28,68	27,97	12,5	64,16
1758	1755	5,56	0,00	12,5	0,00
1758	1773	0,43	47,36	12,5	1,63
1758	1774	0,52	0,00	12,5	0,00
1759	1757	0,51	58,70	12,5	2,39
1759	1760	0,48	0,00	12,5	0,00
1759	1765	9,37	23,91	12,5	17,93
1760	15	0,00	0,00	12,5	0,00
1760	1759	0,48	77,40	12,5	2,97
1760	1791	0,16	7,60	12,5	0,10
1761	1718	0,87	0,00	12,5	0,00
1761	1720	1,60	0,00	12,5	0,00
1761	1783	1,96	0,00	12,5	0,00
1762	1717	0,14	0,00	12,5	0,00
1762	1718	0,32	0,00	12,5	0,00
1763	1711	0,66	0,00	12,5	0,00
1763	1764	0,43	217,68	12,5	7,49
1764	3	0,00	405,00	12,5	0,00
1764	1763	1,72	0,00	12,5	0,00
1764	1798	1,72	64,01	12,5	8,81
1765	6	0,00	0,00	12,5	0,00
1765	1756	0,48	108,46	12,5	4,16
1765	1757	0,74	0,00	12,5	0,00
1765	1759	9,37	5,22	12,5	3,91
1765	1779	2,98	385,85	12,5	91,97
1768	1720	32,75	0,00	12,5	0,00
1769	1713	0,10	0,00	12,5	0,00
1769	1716	1,40	0,00	12,5	0,00
1770	1714	8,90	122,65	12,5	87,33
1770	1716	2,30	21,02	12,5	3,87
1770	1794	0,47	0,00	12,5	0,00
1771	13	0,00	190,00	12,5	0,00
1771	1714	0,80	96,53	12,5	28,81
1771	1779	3,73	0,00	12,5	0,00
1771	1799	0,19	0,00	12,5	0,00
1772	1782	3,17	0,00	12,5	0,00
1772	2147	0,20	0,00	12,5	0,00
1772	2174	0,79	0,00	12,5	0,00
1773	1716	14,00	47,36	12,5	53,05
1773	1758	0,43	0,00	12,5	0,00
1773	1782	2,58	0,00	12,5	0,00
1774	1758	0,52	0,00	12,5	0,00
1774	1782	4,83	0,00	12,5	0,00

1775	1792	0,16	0,00	12,5	0,00
1775	2100	0,29	0,00	12,5	0,00
1775	2101	0,56	0,00	12,5	0,00
1776	1700	2,51	0,00	12,5	0,00
1776	1702	12,67	0,00	12,5	0,00
1777	8	0,00	195,00	12,5	0,00
1777	1703	248,72	17,33	12,5	344,80
1777	1725	108,51	31,29	12,5	271,68
1777	1739	100,82	16,04	12,5	129,41
1777	1740	117,03	25,34	12,5	237,20
1777	1742	154,82	0,00	12,5	0,00
1778	9	0,00	0,00	12,5	0,00
1778	1791	0,00	115,00	12,5	0,00
1779	7	0,00	130,00	12,5	0,00
1779	1752	1,21	450,44	12,5	43,60
1779	1757	6,90	27,97	12,5	15,44
1779	1765	2,98	108,46	12,5	25,86
1779	1771	3,73	125,90	12,5	37,57
1780	4	0,00	195,00	12,5	0,00
1780	1712	0,27	63,99	12,5	1,38
1780	1743	45,31	11,23	12,5	40,72
1780	1744	88,88	0,00	12,5	0,00
1780	1750	5,00	7,15	12,5	2,86
1781	5	0,00	255,00	12,5	0,00
1781	1788	0,00	295,00	12,5	0,00
1782	1713	4,07	0,00	12,5	0,00
1782	1772	3,17	0,00	12,5	0,00
1782	1773	2,58	0,00	12,5	0,00
1782	1774	4,83	0,00	12,5	0,00
1782	2226	0,75	0,00	12,5	0,00
1783	1720	0,97	0,00	12,5	0,00
1783	1721	0,65	0,00	12,5	0,00
1783	1755	1,30	0,00	12,5	0,00
1783	1761	1,96	0,00	12,5	0,00
1784	1729	2,86	0,00	12,5	0,00
1785	12	0,00	0,00	12,5	0,00
1785	1722	7,44	47,36	12,5	28,19
1785	1724	4,17	130,00	12,5	27,57
1788	1715	102,00	28,15	12,5	229,73
1788	1781	0,00	255,00	12,5	0,00
1788	1795	0,00	295,00	12,5	0,00
1788	1799	0,00	80,00	12,5	0,00
1789	1754	0,58	14,22	12,5	0,66
1789	1791	0,00	0,00	12,5	0,00
1790	1738	0,00	205,00	12,5	0,07
1790	1791	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1740	10,50	195,00	12,5	60,76

1791	1757	28,68	72,33	12,5	21,94
1791	1760	0,16	0,00	12,5	0,00
1791	1778	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1789	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1790	0,00	205,00	12,5	0,00
1792	1793	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1795	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1797	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1775	0,16	0,00	12,5	0,00
1793	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1793	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1794	1770	0,47	0,00	12,5	0,00
1794	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1788	0,00	335,00	12,5	0,00
1795	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1798	0,00	295,00	12,5	0,00
1796	1716	2,80	86,91	12,5	19,47
1796	1793	0,00	0,00	12,5	0,00
1796	1794	0,00	0,00	12,5	0,00
1796	1795	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1798	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1798	1711	1,70	85,59	12,5	11,64
1798	1715	0,00	295,00	12,5	0,00
1798	1764	1,60	405,00	12,5	34,58
1798	1795	0,00	335,00	12,5	0,00
1798	1797	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1771	1,25	80,00	12,5	0,89
1799	1788	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1794	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1800	0,00	0,00	12,5	2,67
1800	1709	1,60	0,00	12,5	0,00
1800	1710	1,60	295,00	12,5	16,09
1800	1715	0,00	740,00	12,5	0,00
1800	1799	0,00	0,00	12,5	4,01
1803	1724	1,60	0,00	12,5	0,00
1803	1725	1,60	173,51	12,5	22,21

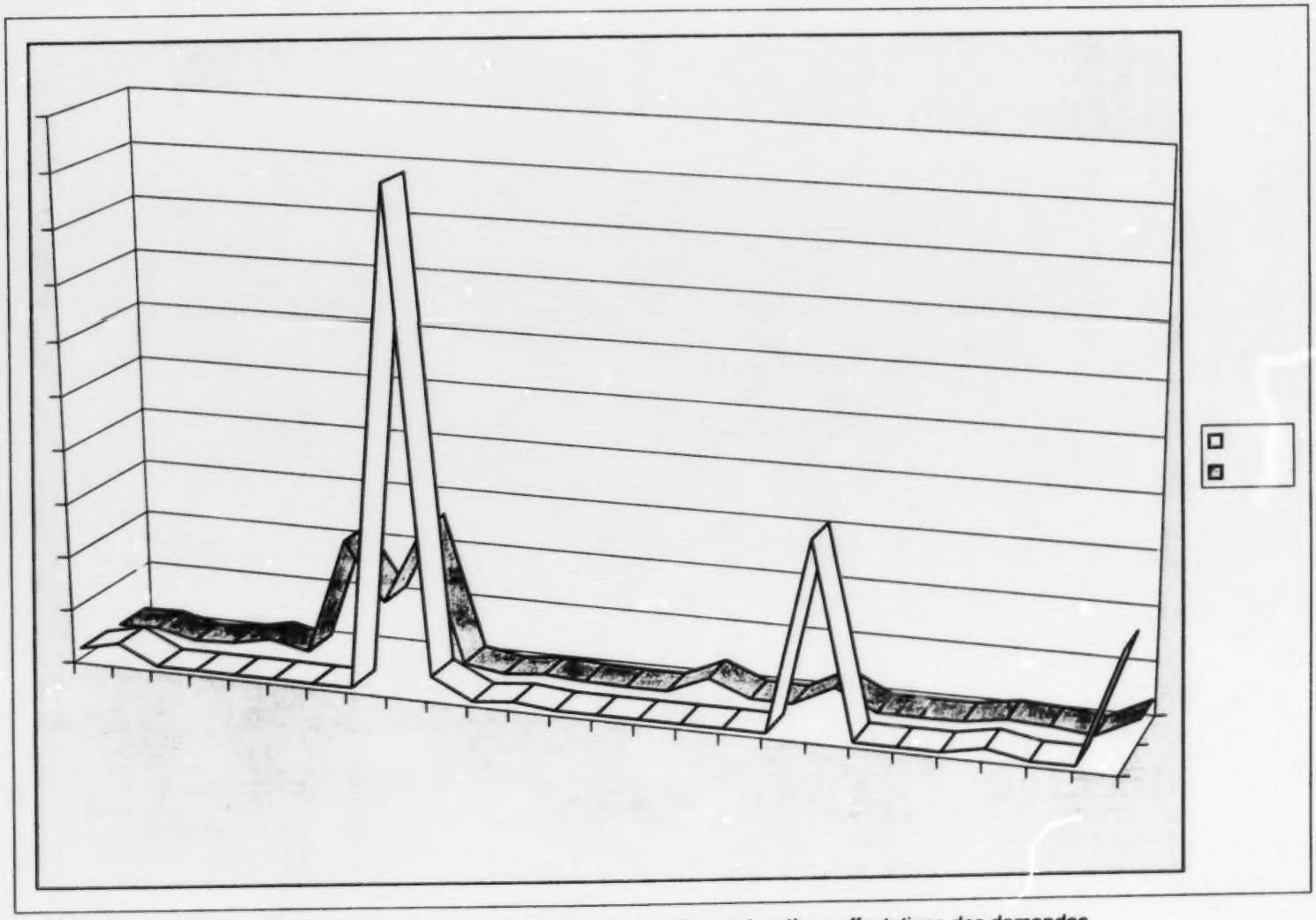


Figure 5.3 Comparaison des répartitions des risques entre les première et deuxième affectations des demandes.
(du lien 1738-1752 au lien 1745-1708)

TABLEAU 5-10

représentation du volume de hazmat transporté et du risque total sur les différents liens du réseau routier de la province de Québec
(troisième affectation: sélection globale)

noeud i	noeud j	risque unitaire (ul_1)	volume transporté	poids de véhicule plein	risque total
1	1708	0,00	0,00	12,5	0,00
2	1745	0,00	70,00	12,5	0,00
3	1764	0,00	0,00	12,5	0,00
4	1780	0,00	80,00	12,5	0,00
5	1781	0,00	295,00	12,5	0,00
6	1765	0,00	240,00	12,5	0,00
7	1779	0,00	100,00	12,5	0,00
8	1777	0,00	90,00	12,5	0,00
9	1778	0,00	115,00	12,5	0,00
10	1744	0,00	110,00	12,5	0,00
11	1751	0,00	120,00	12,5	0,00
12	1785	0,00	130,00	12,5	0,00
13	1771	0,00	0,00	12,5	0,00
14	1738	0,00	105,00	12,5	0,00
15	1760	0,00	85,00	12,5	0,00
1760	15	0,00	0,00	12,5	0,00
1700	1509	24,63	0,00	12,5	0,00
1700	1734	11,90	0,00	12,5	0,00
1700	1776	2,51	0,00	12,5	0,00
1701	1509	23,90	0,00	12,5	0,00
1701	1735	11,66	0,00	12,5	0,00
1702	1535	4,91	0,00	12,5	0,00
1702	1733	1,01	0,00	12,5	0,00
1702	1776	12,67	0,00	12,5	0,00
1703	1754	0,45	17,32	12,5	0,62
1703	1777	248,72	14,19	12,5	282,35
1704	1733	8,14	0,00	12,5	0,00
1704	1738	0,56	0,00	12,5	0,00
1705	1738	3,33	0,00	12,5	0,00
1705	1744	2,38	0,00	12,5	0,00
1705	1748	0,31	0,00	12,5	0,00
1706	1707	1,12	0,00	12,5	0,00
1706	1748	0,21	0,00	12,5	0,00
1707	1706	1,12	0,00	12,5	0,00
1707	1749	0,61	0,00	12,5	0,00
1708	1	0,00	90,00	12,5	0,00
1708	1710	37,68	0,00	12,5	0,00
1708	1711	86,77	18,45	12,5	128,06

1708	1743	29,06	4,23	12,5	9,83
1708	1745	59,16	0,00	12,5	0,00
1708	1746	39,39	1,52	12,5	4,79
1709	1710	2,20	0,00	12,5	0,00
1709	1745	1,58	0,00	12,5	0,00
1709	1800	0,36	0,00	12,5	0,00
1710	1708	37,68	34,75	12,5	104,74
1710	1709	2,20	0,00	12,5	0,00
1710	1711	0,73	212,95	12,5	12,43
1710	1745	0,00	170,34	12,5	0,00
1710	1800	0,88	487,93	12,5	34,35
1711	1708	86,77	17,32	12,5	120,26
1711	1710	0,73	16,98	12,5	0,99
1711	1712	2,04	156,02	12,5	25,46
1711	1743	0,31	23,39	12,5	0,58
1711	1763	0,66	217,73	12,5	11,49
1711	1798	8,40	18,44	12,5	12,39
1712	1711	2,04	81,00	12,5	13,22
1712	1750	31,90	14,19	12,5	36,21
1712	1780	0,27	141,83	12,5	3,06
1713	1716	0,13	0,00	12,5	0,00
1713	1769	0,10	0,00	12,5	0,00
1713	1782	4,07	0,00	12,5	0,00
1713	2100	1,93	0,00	12,5	0,00
1714	1770	8,90	21,01	12,5	14,96
1714	1771	0,80	122,69	12,5	7,85
1715	1788	102,00	4,99	12,5	40,73
1715	1798	0,00	186,12	12,5	0,00
1715	1800	0,00	138,98	12,5	0,00
1716	1713	0,13	0,00	12,5	0,00
1716	1769	1,40	0,00	12,5	0,00
1716	1770	2,30	122,69	12,5	22,57
1716	1773	14,00	0,00	12,5	0,00
1716	1796	2,80	32,64	12,5	7,31
1717	1720	17,94	0,00	12,5	0,00
1717	1762	0,14	0,00	12,5	0,00
1718	1761	0,87	0,00	12,5	0,00
1718	1762	0,32	0,00	12,5	0,00
1718	2145	1,28	0,00	12,5	0,00
1718	2148	0,45	0,00	12,5	0,00
1738	12	0,00	0,00	12,5	0,00
1720	1717	17,94	0,00	12,5	0,00
1720	1721	8,36	0,00	12,5	0,00
1720	1761	1,60	0,00	12,5	0,00
1720	1768	32,75	0,00	12,5	0,00
1720	1783	0,97	0,00	12,5	0,00
1721	1720	8,36	0,00	12,5	0,00

1721	1722	0,12	0,00	12,5	0,00
1721	1783	0,65	0,00	12,5	0,00
1722	1721	0,12	0,00	12,5	0,00
1722	1755	0,47	47,37	12,5	1,78
1722	1785	7,44	0,00	12,5	0,00
1724	1741	41,00	36,60	12,5	120,03
1724	1785	4,17	0,00	12,5	0,00
1724	1803	3,02	46,04	12,5	11,12
1725	1739	1,27	77,33	12,5	7,85
1725	1777	108,51	71,05	12,5	616,84
1725	1803	6,03	0,00	12,5	0,00
1727	1741	1,43	108,46	12,5	12,41
1727	1756	3,12	127,15	12,5	31,74
1729	1737	2,52	0,00	12,5	0,00
1729	1784	2,86	0,00	12,5	0,00
1729	1535	4,77	0,00	12,5	0,00
1732	1733	1,45	0,00	12,5	0,00
1732	1702	1,01	0,00	12,5	0,00
1733	1704	8,14	0,00	12,5	0,00
1733	1732	1,45	0,00	12,5	0,00
1733	1700	11,90	0,00	12,5	0,00
1734	1735	3,51	0,00	12,5	0,00
1734	1701	11,66	0,00	12,5	0,00
1735	1734	3,51	0,00	12,5	0,00
1735	1737	0,88	0,00	12,5	0,00
1736	1742	4,64	0,00	12,5	0,00
1737	1729	2,52	0,00	12,5	0,00
1737	1736	0,88	0,00	12,5	0,00
1738	14	0,00	80,00	12,5	0,00
1738	1704	0,56	0,00	12,5	0,00
1738	1705	3,33	0,00	12,5	0,00
1738	1747	1,14	79,20	12,5	7,22
1738	1751	5,10	76,51	12,5	31,22
1738	1752	4,00	107,82	12,5	34,50
1738	1790	0,00	84,58	12,5	0,034
1739	1725	1,27	71,05	12,5	7,22
1739	1740	160,74	2,82	12,5	36,28
1739	1741	0,57	93,36	12,5	4,26
1739	1777	100,82	54,84	12,5	442,36
1740	1739	160,74	17,42	12,5	224,21
1740	1777	117,03	54,90	12,5	514,00
1740	1791	10,50	28,16	12,5	23,65
1741	1724	41	0,00	12,5	0,00
1741	1727	1,43	127,14	12,5	14,55
1741	1739	0,57	111,29	12,5	5,07
1742	1736	4,64	0,00	12,5	0,00
1742	1777	154,82	0,00	12,5	0,00

1743	1708	29,06	27,51	12,5	63,95
1743	1711	0,31	120,17	12,5	2,98
1743	1751	3,09	7,10	12,5	1,76
1743	1780	45,31	21,54	12,5	78,08
1744	10	0,00	0,00	12,5	0,00
1744	1705	2,38	0,00	12,5	0,00
1744	1749	0,63	27,27	12,5	1,37
1744	1751	3,14	97,77	12,5	24,56
1744	1780	88,88	2,38	12,5	16,98
1745	2	0,00	0,00	12,5	0,00
1745	1708	59,16	16,06	12,5	76,00
1745	1709	1,59	0,00	12,5	0,00
1745	1710	0,00	260,47	12,5	0,00
1745	1752	1,37	224,29	12,5	24,58
1746	1708	39,39	18,55	12,5	58,47
1746	1747	15,11	17,44	12,5	21,07
1746	1751	0,54	104,16	12,5	4,50
1746	1752	1,02	259,34	12,5	21,16
1747	1738	1,14	0,00	12,5	0,00
1747	1746	15,11	32,86	12,5	39,72
1747	1751	0,72	77,11	12,5	4,44
1748	1705	0,31	0,00	12,5	0,00
1748	1706	0,21	0,00	12,5	0,00
1748	1749	1,67	0,00	12,5	0,00
1749	1707	0,61	0,00	12,5	0,00
1749	1744	0,63	0,00	12,5	0,00
1749	1748	1,67	0,00	12,5	0,00
1749	1750	72,64	27,27	12,5	158,48
1750	1712	31,90	16,98	12,5	43,35
1750	1749	72,64	0,00	12,5	0,00
1750	1780	5,00	31,63	12,5	12,65
1751	11	0,00	0,00	12,5	0,00
1751	1738	5,10	86,85	12,5	35,44
1751	1743	3,09	137,48	12,5	33,98
1751	1744	3,14	17,43	12,5	4,37
1751	1746	0,54	227,56	12,5	9,83
1751	1747	0,72	13,33	12,5	0,77
1752	1738	4,00	51,71	12,5	16,55
1752	1745	1,37	660,51	12,5	72,39
1752	1746	1,02	137,55	12,5	11,22
1752	1779	1,21	192,11	12,5	18,60
1754	1703	0,45	14,20	12,5	0,51
1754	1789	0,58	17,32	12,5	0,80
1755	1722	0,47	0,00	12,5	0,00
1755	1758	5,56	47,37	12,5	21,07
1755	1783	1,30	0,00	12,5	0,00
1756	1727	3,12	108,46	12,5	27,07

1756	1765	0,48	127,14	12,5	4,88
1757	1759	0,51	0,00	12,5	0,00
1757	1765	0,74	0,00	12,5	0,00
1757	1779	6,90	68,25	12,5	37,67
1757	1791	28,68	27,97	12,5	64,16
1758	1755	5,56	0,00	12,5	0,00
1758	1773	0,43	47,37	12,5	1,63
1758	1774	0,52	0,00	12,5	0,00
1759	1757	0,51	58,70	12,5	2,39
1759	1760	0,48	0,00	12,5	0,00
1759	1765	9,37	23,91	12,5	17,92
1760	15	0,00	0,00	12,5	0,00
1760	1759	0,48	77,40	12,5	2,97
1760	1791	0,16	7,60	12,5	0,10
1761	1718	0,87	0,00	12,5	0,00
1761	1720	1,60	0,00	12,5	0,00
1761	1783	1,96	0,00	12,5	0,00
1762	1717	0,14	0,00	12,5	0,00
1762	1718	0,32	0,00	12,5	0,00
1763	1711	0,66	0,00	12,5	0,00
1763	1764	0,43	217,73	12,5	7,49
1764	3	0,00	405,00	12,5	0,00
1764	1763	1,72	0,00	12,5	0,00
1764	1798	1,72	64,00	12,5	8,80
1765	6	0,00	0,00	12,5	0,00
1765	1756	0,48	108,47	12,5	4,16
1765	1757	0,74	0,00	12,5	0,00
1765	1759	9,37	5,21	12,5	3,90
1765	1779	2,98	385,84	12,5	91,98
1768	1720	32,75	0,00	12,5	0,00
1769	1713	0,10	0,00	12,5	0,00
1769	1716	1,40	0,00	12,5	0,00
1770	1714	8,90	122,69	12,5	87,36
1770	1716	2,30	21,01	12,5	3,87
1770	1794	0,47	0,00	12,5	0,00
1771	13	0,00	190,00	12,5	0,00
1771	1714	0,80	21,01	12,5	1,34
1771	1779	3,73	96,57	12,5	28,82
1771	1799	0,19	0,00	12,5	0,00
1772	1782	3,17	0,00	12,5	0,00
1772	2147	0,20	0,00	12,5	0,00
1772	2174	0,79	0,00	12,5	0,00
1773	1716	14,00	47,37	12,5	53,06
1773	1758	0,43	0,00	12,5	0,00
1773	1782	2,58	0,00	12,5	0,00
1774	1758	0,52	0,00	12,5	0,00
1774	1782	4,83	0,00	12,5	0,00

1775	1792	0,16	0,00	12,5	0,00
1775	2100	0,29	0,00	12,5	0,00
1775	2101	0,56	0,00	12,5	0,00
1776	1700	2,51	0,00	12,5	0,00
1776	1702	12,67	0,00	12,5	0,00
1777	8	0,00	195,00	12,5	0,00
1777	1703	248,72	17,32	12,5	344,72
1777	1725	108,51	31,30	12,5	271,72
1777	1739	100,82	16,03	12,5	129,33
1777	1740	117,03	25,34	12,5	237,23
1777	1742	154,82	0,00	12,5	0,00
1778	9	0,00	0,00	12,5	0,00
1778	1791	0,00	115,00	12,5	0,00
1779	7	0,00	130,00	12,5	0,00
1779	1752	1,21	450,45	12,5	43,60
1779	1757	6,90	27,97	12,5	15,44
1779	1765	2,98	108,46	12,5	25,86
1779	1771	3,73	125,90	12,5	37,57
1780	4	0,00	195,00	12,5	0,00
1780	1712	0,27	64,00	12,5	1,38
1780	1743	45.31	11,22	12,5	40,68
1780	1744	88.88	0,00	12,5	0,00
1780	1750	5,00	7,15	12,5	2,86
1781	5	0,00	255,00	12,5	0,00
1781	1788	0,00	295,00	12,5	0,00
1782	1713	4,07	0,00	12,5	0,00
1782	1772	3,17	0,00	12,5	0,00
1782	1773	2,58	0,00	12,5	0,00
1782	1774	4,83	0,00	12,5	0,00
1782	2226	0,75	0,00	12,5	0,00
1783	1720	0,97	0,00	12,5	0,00
1783	1721	0,65	0,00	12,5	0,00
1783	1755	1,30	0,00	12,5	0,00
1783	1761	1,96	0,00	12,5	0,00
1784	1729	2,86	0,00	12,5	0,00
1785	12	0,00	0,00	12,5	0,00
1785	1722	7,44	47,37	12,5	28,19
1785	1724	4,17	82,63	12,5	27,57
1788	1715	102,00	28,14	12,5	229,60
1788	1781	0,00	255,00	12,5	0,00
1788	1795	0,00	295,00	12,5	0,00
1788	1799	0,00	80,00	12,5	0,00
1789	1754	0,58	14,19	12,5	0,65
1789	1791	0,00	0,00	12,5	0,00
1790	1738	0,05	184,55	12,5	0,07
1790	1791	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1740	10,50	72,34	12,5	60,76

1791	1757	28,68	9,54	12,5	21,91
1791	1760	0,16	0,00	12,5	0,00
1791	1778	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1789	0,00	0,00	12,5	0,00
1791	1790	0,00	205,00	12,5	0,00
1792	1793	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1795	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1797	0,00	0,00	12,5	0,00
1792	1775	0,16	0,00	12,5	0,00
1793	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1793	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1794	1770	0,47	0,00	12,5	0,00
1794	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1788	0,00	335,00	12,5	0,00
1795	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1796	0,00	0,00	12,5	0,00
1795	1798	0,00	295,00	12,5	0,00
1796	1716	2,80	86,94	12,5	19,47
1796	1793	0,00	0,00	12,5	0,00
1796	1794	0,00	0,00	12,5	0,00
1796	1795	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1798	0,00	0,00	12,5	0,00
1797	1792	0,00	0,00	12,5	0,00
1798	1711	1,70	17,32	12,5	11,64
1798	1715	0,00	295,00	12,5	0,00
1798	1764	1,72	251,28	12,5	34,58
1798	1795	0,00	335,00	12,5	0,00
1798	1797	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1771	0,19	59,00	12,5	0,89
1799	1788	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1794	0,00	0,00	12,5	0,00
1799	1800	0,39	116,11	12,5	3,62
1800	1709	1,60	0,00	12,5	0,00
1800	1710	0,88	228,47	12,5	16,08
1800	1715	0,00	740,00	12,5	0,00
1800	1799	0,39	128,42	12,5	4,01
1803	1724	6,03	0,00	12,5	0,00
1803	1725	1,60	173,51	12,5	22,21

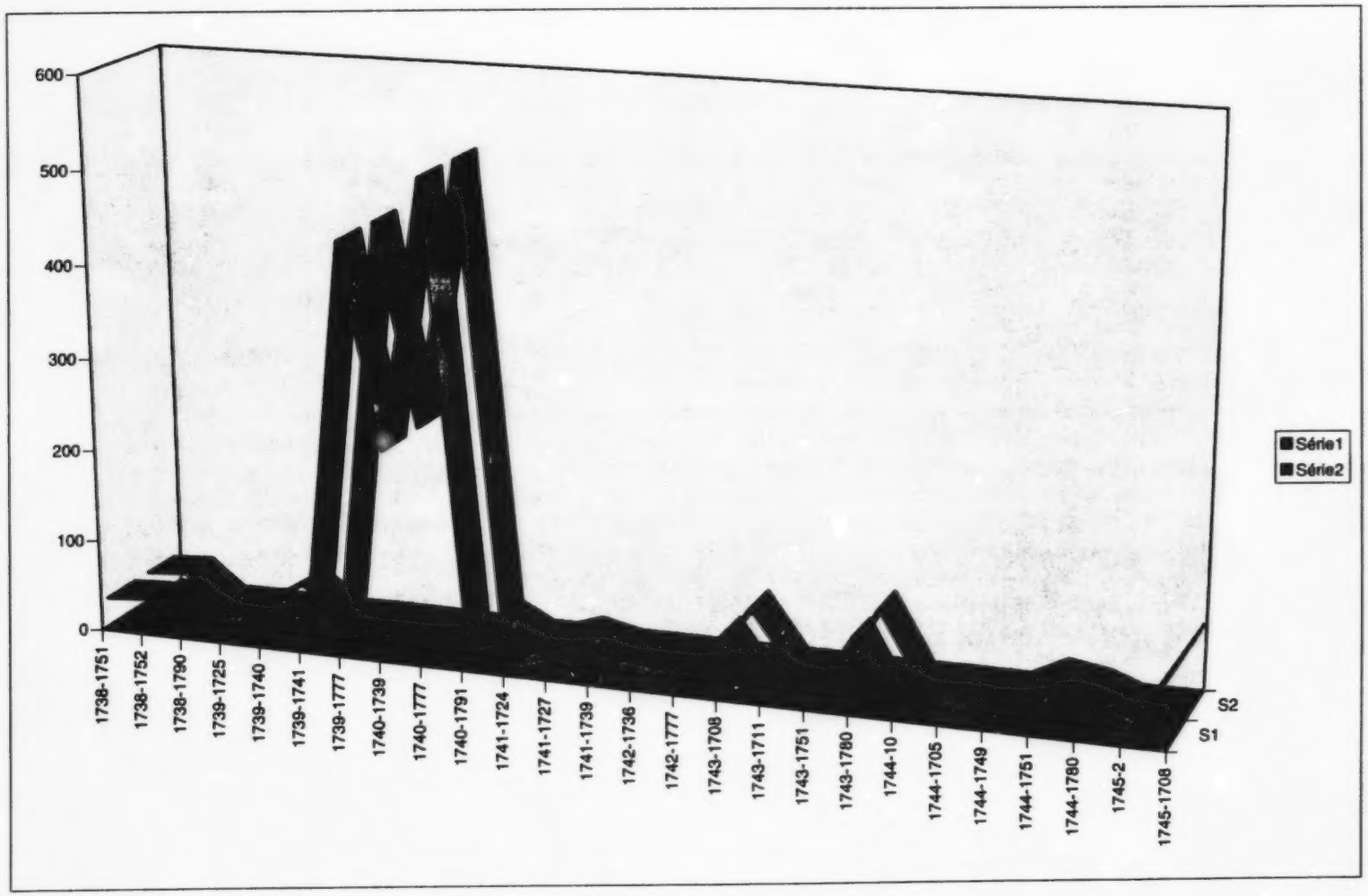


Figure 5.4 Comparaison des répartitions des risques entre les deuxième et troisième affectations des demandes.
(du lien 1738-1751 au lien (1745-1708)

Tableau 5.11 Représentation des volumes de hazmat, des risques et des distances des routes sélectionnées (troisième affectation: sélection globale)

demande	route	liens	volume total	distance totale	risque total
1	1	2 - 1745 - 1752 - 1779 - 1765 - 1756 - 1727 - 1741 - 1739 - 1777 - 8	13,48	446	120,95
	2	2 - 1745 - 1708 - 1746 - 1752 - 1779 - 1757 - 1791 - 1740 - 1777 - 8	1,52	453	30,40
	3	2 - 1745 - 1752 - 1738 - 1790 - 1791 - 1740 - 1739 - 1725 - 1777 - 8	6,26	457	143,21
	4	2 - 1745 - 1752 - 1738 - 1790 - 1791 - 1789 - 1754 - 1703 - 1777 - 8	5,10	511	104,60
	5	2 - 1745 - 1752 - 1746 - 1751 - 1738 - 1790 - 1791 - 1740 - 1777 - 8	18,18	421	196,57
	6	2 - 1745 - 1752 - 1779 - 1765 - 1756 - 1727 - 1741 - 1739 - 1725 - 1777 - 8	19,24	465	186,25
	7	2 - 1745 - 1752 - 1779 - 1765 - 1756 - 1727 - 1741 - 1739 - 1777 - 8	6,22	446	56,01
2	1	4 - 1780 - 1712 - 1711 - 1763 - 1764 - 1798 - 1797 - 1792 - 1795 - 1788 - 1799 - 1771 - 13	15,40	208	6,54
	2	4 - 1780 - 1743 - 1708 - 1711 - 1798 - 1795 - 1796 - 1716 - 1770 - 1714 - 1771 - 13	1,74	338	25,81
	3	4 - 1780 - 1750 - 1712 - 1711 - 1710 - 1800 - 1799 - 1771 - 13	7,16	218	23,22
	4	4 - 1780 - 1712 - 1711 - 1763 - 1764 - 1798 - 1715 - 1800 - 1799 - 1771 - 13	5,83	210	3,00
	5	4 - 1780 - 1712 - 1711 - 1763 - 1764 - 1798 - 1715 - 1800 - 1799 - 1771 - 13	20,78	210	10,59
	6	4 - 1780 - 1712 - 1711 - 1763 - 1764 - 1798 - 1795 - 1796 - 1716 - 1770 - 1714 - 1711 - 13	21,99	258	35,44
	7	4 - 1780 - 1743 - 1751 - 1746 - 1752 - 1779 - 1771 - 13	7,11	212	31,30
3	1	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1798 - 1711 - 1708 - 1	17,33	144	132,29
	2	5 - 1781 - 1788 - 1715 - 1800 - 1710 - 1708 - 1	1,96	85	22,49
	3	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1798 - 1715 - 1800 - 1710 - 1708 - 1	8,05	69	24,68
	4	5 - 1781 - 1788 - 1799 - 1800 - 1710 - 1745 - 1708 - 1	6,55	73	31,22
	5	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1798 - 1715 - 1800 - 1710 - 1711 - 1743 - 1708 - 1	23,38	171	56,20
	6	5 - 1781 - 1788 - 1799 - 1800 - 1710 - 1708 - 1	24,74	71	76,35
	7	5 - 1781 - 1788 - 1715 - 1800 - 1710 - 1745 - 1708 - 1	7,99	87	103,70
4	1	5 - 1781 - 1788 - 1799 - 1800 - 1710 - 1745 - 1752 - 1779 - 1765 - 1756 - 1727 - 1741 - 1739 - 1777 - 8	24,68	474	217,82
	2	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1796 - 1716 - 1770 - 1714 - 1771 - 1779 - 1757 - 1791 - 1740 - 1777 - 8	2,72	508	39,98
	3	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1798 - 1715 - 1800 - 1710 - 1745 - 1752 - 1738 - 1790 - 1791 - 1740 - 1739 - 1725 - 1777 - 8	11,18	483	255,67
	4	5 - 1781 - 1788 - 1799 - 1800 - 1710 - 1745 - 1752 - 1738 - 1790 - 1791 - 1789 - 1754 - 1703 - 1777 - 8	9,10	539	186,88
	5	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1798 - 1715 - 1800 - 1710 - 1745 - 1752 - 1746 - 1751 - 1738 - 1790 - 1791 - 1740 - 1777 - 8	32,47	447	354,74
	6	5 - 1781 - 1788 - 1795 - 1796 - 1716 - 1770 - 1714 - 1771 - 1779 - 1765 - 1756 - 1727 - 1741 - 1739 - 1725 - 1777 - 8	34,36	585	376,46
	7	5 - 1781 - 1788 - 1715 - 1800 - 1710 - 1745 - 1752 - 1779 - 1765 - 1756 - 1727 - 1741 - 1739 - 1777 - 8	11,10	488	190,15

5	1	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711 - 1712 - 1780 - 4	20,22	197	13,93
	2	6 - 1765 - 1759 - 1757 - 1779 - 1752 - 1746 - 1708 - 1743 - 1780 - 4	2,28	270	23,90
	3	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1746 - 1747 - 1751 - 1744 - 1749 - 1750 - 1780 - 4	9,39	281	76,85
	4	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711 - 1712 - 1750 - 1780 - 4	7,65	207	27,60
	5	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711- 1712 - 1780 - 4	27,28	197	18,76
	6	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711 - 1712 - 1780 - 4	28,86	197	19,86
	7	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1746 - 1751 - 1743 - 1780 - 4	9,32	191	40,63
6	1	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	25,99	110	13,40
	2	6 - 1765 - 1759 - 1757 - 1779 - 1752 - 1746 - 1708 - 1711 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	2,93	337	33,86
	3	6 - 1765 - 1779 - 1771 - 1714 - 1770 - 1716 - 1796 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	12,08	204	20,87
	4	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1799 - 1788 - 1781 - 5	9,83	112	5,09
	5	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1799 - 1788 - 1781 - 5	35,07	112	18,09
	6	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	37,11	110	19,12
	7	6 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	11,99	110	6,18
7	1	7 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	19,25	93	7,98
	2	7 - 1779 - 1752 - 1746 - 1708 - 1711 - 1798 - 1764 - 3	2,17	231	23,55
	3	7 - 1779 - 1771 - 1714 - 1770 - 1716 - 1796 - 1795 - 1798 - 1764 - 3	8,95	187	14,60
	4	7 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	7,28	93	3,00
	5	7 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	25,98	93	10,78
	6	7 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711 - 1763 - 1764 - 3	27,49	129	9,68
	7	7 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	8,88	93	3,67
8	1	8 - 1777 - 1703 - 1754 - 1789 - 1791 - 1790 - 1738 - 1747 - 1751 - 1743 - 1711 - 1712 - 1780 - 4	17,33	658	357,69
	2	8 - 1777 - 1740 - 1791 - 1757 - 1779 - 1752 - 1746 - 1708 - 1743 - 1780 - 4	1,96	485	44,64
	3	8 - 1777 - 1739 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 1752 - 1746 - 1747 - 1751 - 1744 - 1749 - 1750 - 1780 - 4	8,05	643	141,33
	4	8 - 1777 - 1725 - 1739 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711 - 1712 - 1750 - 1780 - 4	6,55	588	83,50
	5	8 - 1777 - 1740 - 1791 - 1790 - 1738 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711 - 1712 - 1780 - 4	23,38	503	254,21
	6	8 - 1777 - 1725 - 1739 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711 - 1712 - 1780 - 4	24,74	578	245,48
	7	8 - 1777 - 1739 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 1752 - 1746 - 1751 - 1743 - 1780 - 4	7,99	553	102,77
9	1	9 - 1778 - 1791 - 1790 - 1738 - 1747 - 1751 - 1743 - 1711 - 1763 - 1764 - 3	22,14	295	11,24
	2	9 - 1778 - 1791 - 1757 - 1779 - 1752 - 1746 - 1708 - 1711 - 1798 - 1764 - 3	2,50	361	34,81
	3	9 - 1778 - 1791 - 1790 - 1738 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	10,29	225	6,53
	4	9 - 1778 - 1791 - 1790 - 1738 - 1751 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	8,37	256	6,38
	5	9 - 1778 - 1791 - 1790 - 1738 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	29,87	225	19,28
	6	9 - 1778 - 1791 - 1790 - 1738 - 1751 - 1743 - 1711 - 1763 - 1764 - 3	31,61	285	24,26
	7	9 - 1778 - 1791 - 1790 - 1738 - 1747 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	10,21	243	16,00

10	1	10 - 1744 - 1751 - 1746 - 1752 - 1779 - 1771 - 13	21,18	186	16,28
	2	10 - 1744 - 1780 - 1743 - 1708 - 1711 - 1798 - 1715 - 1788 - 1795 - 1796 - 1716 - 1770 - 1714 - 1771 - 13	2,39	411	71,30
	3	10 - 1744 - 1749 - 1750 - 1712 - 1711 - 1710 - 1800 - 1799 - 1771 - 13	9,84	305	86,13
	4	10 - 1744 - 1751 - 1746 - 1752 - 1779 - 1771 - 13	8,01	186	6,16
	5	10 - 1744 - 1751 - 1746 - 1752 - 1779 - 1771 - 13	28,57	186	22,08
	6	10 - 1744 - 1751 - 1746 - 1752 - 1779 - 1771 - 13	30,23	186	23,34
	7	10 - 1744 - 1751 - 1746 - 1752 - 1779 - 1771 - 13	9,77	186	7,52
11	1	11 - 1751 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	23,10	128	7,05
	2	11 - 1751 - 1747 - 1746 - 1708 - 1711 - 1798 - 1715 - 1788 - 1781 - 5	2,61	235	21,22
	3	11 - 1751 - 1747 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	10,74	147	16,28
	4	11 - 1751 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1799 - 1788 - 1781 - 5	8,74	130	2,67
	5	11 - 1751 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1799 - 1788 - 1781 - 5	31,17	130	9,53
	6	11 - 1751 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	32,98	128	10,06
	7	11 - 1751 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1795 - 1788 - 1781 - 5	10,66	128	3,24
12	1	12 - 1785 - 1724 - 1803 - 1725 - 1739 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 7	25,03	728	46,16
	2	12 - 1785 - 1724 - 1741 - 1739 - 1740 - 1791 - 1757 - 1779 - 7	2,83	641	49,36
	3	12 - 1785 - 1722 - 1755 - 1758 - 1773 - 1716 - 1796 - 1795 - 1798 - 1715 - 1800 - 1710 - 1745 - 1752 - 1779 - 7	11,63	917	31,77
	4	12 - 1785 - 1724 - 1803 - 1725 - 1739 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 7	9,47	728	17,53
	5	12 - 1785 - 1724 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 7	33,77	579	143,59
	6	12 - 1785 - 1722 - 1755 - 1758 - 1773 - 1716 - 1770 - 1714 - 1771 - 1779 - 7	35,73	925	124,78
	7	12 - 1785 - 1724 - 1803 - 1725 - 1739 - 1741 - 1727 - 1756 - 1765 - 1779 - 7	11,54	728	21,23
13	1	14 - 1738 - 1747 - 1751 - 1743 - 1711 - 1763 - 1764 - 3	20,22	285	10,30
	2	14 - 1738 - 1790 - 1791 - 1757 - 1779 - 1752 - 1746 - 1708 - 1711 - 1798 - 1764 - 3	2,28	371	31,33
	3	14 - 1738 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	9,39	215	5,98
	4	14 - 1738 - 1751 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	7,65	246	6,49
	5	14 - 1738 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	27,28	215	17,38
	6	14 - 1738 - 1751 - 1743 - 1711 - 1763 - 1764 - 3	28,86	275	22,15
	7	14 - 1738 - 1747 - 1746 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	9,32	233	15,94
14	1	15 - 1760 - 1759 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	16,37	192	21,33
	2	15 - 1760 - 1759 - 1757 - 1779 - 1752 - 1746 - 1708 - 1711 - 1798 - 1764 - 3	1,85	357	21,97
	3	15 - 1760 - 1791 - 1790 - 1738 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	7,60	323	4,97
	4	15 - 1760 - 1759 - 1757 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	6,19	219	6,55
	5	15 - 1760 - 1759 - 1757 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	22,09	219	20,08
	6	15 - 1760 - 1759 - 1757 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1711 - 1763 - 1764 - 3	23,36	255	22,97
	7	15 - 1760 - 1759 - 1765 - 1779 - 1752 - 1745 - 1710 - 1800 - 1715 - 1798 - 1764 - 3	7,55	192	10,81

APPENDICE B.12

EXEMPLE DE STAN REPRÉSENTANT LES ROUTES DE LA CINQUIÈME DEMANDE (SÉLECTION GLOBALE: TROISIÈME AFFECTATION)

(voir page suivante)

RÉFÉRENCES

Abkowitz, M., Lepofsky, M. et Cheng, P. 1991. « Selecting Criteria for Designating Hazardous Materials Highway Routes ». Transportation Research Record, 1333, p. 30-35. Accepted for Presentation at the 1992 Annual Meeting of the Transportation Research Board and for Publication in Transportation Research Record.

Batta, R. et Chiu, S.S. 1988. « Optional Obnoxious Paths on a Network: Transportation of Hazardous Materials ». Operations Research, 36(1), p.84-92.

Berman, O. et Kaplan, E.H. 1990. « Equity Maximising Facility Location Schemes ». Transportation Science, 24 c2, p. 137-144.

Burns, W. J. 1991. « Introducing Structural Models and Influence Diagrams into Risk Perception Research: Their Value for Theory Construction and Design Making ». Dissertation Abstracts International, 51, No. 12.

Burns, W. J. et Clemen, Robert.T . 1993. « Covariance Structure Models and Influence Diagrams ». Management Science. Vol. 39, No. 7.

Cohon, J. L. 1978. « Multiobjective Programming and Planning ». Orlando, FL: A press.

Crainic, Teodor.Gabriel., Florian, Michael., Guélat, Jacques. et Spiess, Heinz. 1990. « Strategic Planning of Freight Transportation: STAN, an Interactive-Graphic System». Reprinted from Transportation Research Record 1283, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

Coutinho-Rodriques, Joào., Currents, John., Climaco, Joào. et Ratick, Samuel. 1995. « An Interactive Spatial Decision Support System for Multiobjective Hazardous Materials Location-Routing Problems ».

Covello, V.T. et Markhofer, M.W. 1993. « Risk Assessment Methods: Approches for Assessing Health and Environmental Risks ». p. 2. Plenum Press, New York, NY.

Erkut, Erhan. et Neuman, S. 1989. « Analytical Models for Locating Undesirable Facility ». European Journal of Operational Research, 40(3). p. 275-291.

Erkut, Erhan. et Neuman, S. 1992. « A Multiobjective Model for Locating Undesirable Facilities ». Annals of Operations Research, Vol. 40. p. 209-227.

Erkut, Erhan. 1993. « Inequality Measures for Location Problems ». Location Science, 1(3). p. 199-217.

Erkut, Erhan. et Verter, Vedat. 1994. « Hazardous Materials Logistics: A Review Research Report ». No. 94-3.

Erkut, Erhan. et Verter, Vedat. 1994. « A Framework for Hazardous Materials Transport Risk Assessment Research Report ». No. 94-4.

Erkut, Erhan. et Verter, Vedat. 1995a. « Hazardous Materials Logistics ». To Appear in Facility Location: A Survey of Applications and Methods, A Springer Verlog Book Edited by Zvi Drezner.

Erkut, Erhan. et Verter, Vedat. 1995b. « Modeling of Risk in Hazardous Materials Routing ». Research Paper in Management Science. University of Alberta. Submitted to Operations Research. No. 95-1.

Erkut, Erhan. et Verter, Vedat. 1996. « Modeling of Transport Risk for Hazardous Materials ». CRT 96-97, Centre for Research on Transportation.

Glickman, T. S. 1988. « Benchmark Estimates of Release Accident Rates in Hazardous Material Transportation of Rail and Truck ». Transportation Research Record, Vol. 1193. p. 22-28.

Glickman, T.S. et Raj, P.K. 1991. « A Comparison of Theoretical and Actual Consequences in Two Fatal Ammonia Incidents ». Institute for Risk Research, University of Waterloo, Waterloo, Canada. p. 511-529.

Gopalan, R., Kolluri, K.S., Batta, R. et Karwan, M.H. 1990. « Modeling Equity of Risk in the Transportation of Hazardous Materials ». Operations Research, 38 (6). p. 961-973.

Hansen, P. 1980. « Bicreterion Path Problems ». In Beckman, M. et H, P. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Berli

Hubert, Bonnefous et Brenot. 1991. « La conception et la gestion du processus de décision: un nouvel enjeu pour l'aménagement du territoire à l'exemple de la réalisation d'une installation de stockage de déchets spéciaux stabilisés (ISDS) en Suisse romande ». Communauté d'études pour l'aménagement du territoire, C.É.A.T., Lausanne.

Johnson, Paul.E., Liu, Cheng. et Harrison, I.Glen. 1994. « Hazardous Materials Transportation Modeling for Department of Energy Shipments ».

Kaperson, R.E., Renu, O., Slovic, P., Brown, H.S., Emel, J., Gobel, R., Kaperson, J.X. et Ratick, S. 1988. « The Social Amplification of Risk ». Risk Analysis. p. 177-187.

Keeney, R. L. 1980. « Equity and Public Risk ». Operations Research, 28(3). p. 527-534.

Keeney, R.L. et Winkler, R.L. 1985. « Evaluating Decision Strategies for Equity of Public risks ». Operations Research, 33(5). p. 955-970.

Laporte. G. 1988. « Location-Routing Problems ». In B.L. Golden, and A.A Vehicle Routing: Methods and Studies, North Holland.

List, G. et Mirchandani, P.B. 1991. « An Integrated Network/Planar Multiobjective Model for Routing and Siting for Hazardous Materials and Wastes ». Transportation Service, 25(2). p. 146-156.

Mirchandani, P.B., Rebello, R., et Agnetis, A. 1995. « The Inspection Station Location Problem in Hazardous Materials Transportation: Some Heuristics and Bounds ». To Appear in Infor.

Morell, D. 1984. « Sizing and the Politics of Equity Hazardous Waste ». p. 555-571.

Mushtaqur, Rahman et Kuby, Michael. 1995. « A Multiobjective Model for Locating Solid Waste Transfer Facilities Using an Empirical Opposition Function ». Infor, vol. 33. No.1, p. 34-49.

Ratick, S. J et White, A.L. 1988. « A Risk-Sharing Model for Locating Noxious Facilities ». Environment and Planning B: Planning and Design. Vol. 15, No. 3. p. 165-179.

Revelle, C., Cohon, J., et Shobrys, D. 1991. « Simultaneous Siting and Routing in the Disposal of Hazardous Wastes ». Transportation Science, 25(2). p. 139-145.

Saccomano, F. F et Chan, A. 1985. « Economic Evaluation of Routing Strategies for Hazardous Road Shipments ». Transportation Research Record, 1020. p. 12-18.

Saccomano, F. et Purdy, G. 1995. « The Measurement of Risk from Transporting Dangerous Goods by Road and Rail ». In Transportation of Dangerous Goods: Assessing the Risks. Institute for Risk Research. University of Waterloo. p. 19-46.

Sarin, R. K. 1985. « Measuring Equity in Public Risk ». Operations Research, 33(1). p. 210-217.

Sarin, R.K. 1993. « Models of Equity in Public Risk ». In Psychological Perspectives on Justice: Theory and Applications, Mellers, B. et Baron, J. (editors), Cambridge University Press.

Sen, A.K. 1973. « On Economic Inequality ». Oxford: Oxford University Press.

Sivakumar, R.A, Batta, R., et Karwan, M.H. 1995. « A Multiple Route Conditional Risk Model for Transporting Hazardous Materials ». Infor, 33(1). P. 20-33.

Teghem, J. et Kunsch, P. 1986. « A Survey of Techniques for Finding Efficient Solutions to Multiobjective Integer Linear Programming ». Asia Pacific Journal of Operational Research. p. 95-108.

Wright, J. 1993. « Transport Canada Dangerous Goods Accident Costing Study and Model ». In Transportation of Dangerous Goods: Assessing the Risks. p. 601-616. Institute for Risk Research, University of Waterloo.

Zografos, K.G et Davis, C. F. 1989. « Multiobjective Programming Approach for Routing Hazardous Materials ». Journal of Transportation Engineering, 115(6). p. 661-673.